Е. Айсберг





РАДИО?.. ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО!



МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 622

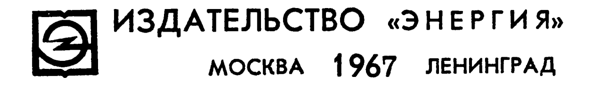
Е. АЙСБЕРГ

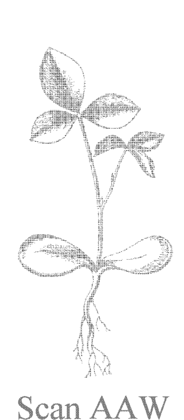
РАДИО?..
ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО!

Издание второе, переработанное и дополненное

Перевод с французского
М. В. КОМАРОВОЙ и Ю. Л. СМИРНОВА

Под общей редакцией А. Я. Брейтбарта





УДК 621.37/39
А11

В книге рассказывается о том, как устроен и работает современный радиоприемник. Рассказ ведется в форме непринужденных бесед между опытным и начинающим радиолюбителями. Беседы иллюстрируются занимательными рисунками.

Рассчитана книга на широкий круг читателей, желающих ознакомиться с радиотехникой.

О

E. Aisberg

La radio?.. Mais c'est très simple!

Société des éditions radio. 1960.

Айсберг Евгений Давыдович

Радио?.. Это очень просто!

Пер. с француз. М. В. Комаровой и Ю. Л. Смирнова. М. — Л., изд-во «Энергия», 1967.

208 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 622)

3-4-5
346-66

Редактор *В. В. Енютин*
Переплет художника *А. М. Кувшинникова*
Техн. редактор *Т. Н. Царева*

Сдано в набор 10/II 1966 г. Подписано к печати 1/XI 1966 г. Бумага типографская № 2 60×90[1]/16. Печ. л. 13. Уч.-изд. л. 16,64. Тираж 200 000. Цена 96 коп. Заказ 239.

Издательство «Энергия» Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор» имени А. М. Горького Главполиграфпрома Комитета по печати при Совете Министров СССР, Гатчинская, 26.

ПРЕДИСЛОВИЕ К РУССКОМУ ИЗДАНИЮ

Пожалуй, во всей мировой научно-популярной радиотехнической литературе нет сейчас книги более известной, чем та, которую Вы раскрыли, читатель. Она выдержала 27 изданий во Франции и переведена в 14 различных странах. Первое русское издание этой книги, выпущенное в 1963 г. большим тиражом (200 000 экз.), разошлось полностью за очень короткое время и вызвало многочисленные положительные отклики советских читателей.

Что снискало ей такую популярность во Франции и Италии, Чехословакии и Греции, Аргентине и Польше, Венгрии, Румынии, у нас и в ряде других стран?

Пожалуй, самый правильный ответ будет — талантливость.

Она занимательна и серьезна, популярна и научна, доходчива и остроумна, но в то же время в ней нет вульгаризации.

Картинки на полях Вас развлекают и являются иллюстративной частью остроумных реплик и смелых сравнений, которыми обмениваются основные персонажи книги. В то же время это своеобразный веселый подтекст к тем вполне серьезным схемам и рисункам, которые мы находим в основном тексте книги.

Вот почему эта книга предназначается для всех радиолюбительских возрастов и для самых широких кругов читателей, включая техников, желающих систематизировать свои знания.

Редакция и издательство считают своим приятным долгом выразить благодарность автору — Е. Д. Айсбергу, внесшему поправки к первому русскому изданию и приславшему для настоящего издания дополнительную беседу о звукозаписи.

Мы не можем не привести нескольких слов Е. Д. Айсберга из нашей с ним переписки.

«Да принесет наступающий новый год всему человечеству мир, дружбу и лучшее взаимопонимание между народами. По мере наших личных возможностей мы с Вами можем и должны этому способствовать. Я думаю, что издание книг, переведенных с русского на французский и наоборот, является в этом отношении очень полезной деятельностью».

Полностью разделяя эти мысли французского популяризатора и пропагандиста радиотехнических знаний, мы предлагаем нашим читателям его книгу «Радио?.. Это очень просто!»

Редакция Массовой радиобиблиотеки

ДЛЯ КОГО ПРЕДНАЗНАЧЕНА ЭТА КНИГА?

Эта книга ни по содержанию, ни по форме не похожа ни на какую другую. Рисунки на полях могли бы навести на мысль, что речь пойдет о книге для детей.

В действительности «Радио?.. Это очень просто!» написана для начинающих и радиотехников всех возрастов.

Начинающий найдет в ней легко усваиваемое изложение основных законов радиотехники и простое объяснение действия современных радиоприемников.

Чтение книги не требует предварительных сведений об электричестве и физике. Необходимые основы в этих областях науки даны в тех местах книги, где знание их нужно для понимания сущности радио.

Внимательное чтение книги позволит начинающему проникнуть без особого труда в так называемые тайны радиотехники — одной из наиболее интересных областей техники, проникающей день ото дня во все отрасли нашей жизни и освобождающей нас окончательно от зависимости во времени и пространстве.

Если эта книга полезна начинающему, то она будет не менее полезна технику, стремящемуся систематизировать свои знания. Благодаря стремительному развитию радиотехники в умах тех, кто ею занимается, накапливается большое количество разрозненных технических новинок и идей, которые необходимо привести в систему. Использовать для этой цели классические учебники высшей школы затруднительно, так как большинство явлений в них рассматривается с привлечением сложной математики и довольно абстрактно.

Именно с целью «приведения в порядок мыслей» техник прочтет с пользой эту книгу, автор которой позаботился о том, чтобы дать конкретный физический образ каждого из изучаемых явлений.

Чтобы популяризировать, нет нужды быть вульгарным, чтобы быть простым, нет необходимости все объяснять упрощенно и, наконец, чтобы быть серьезным, нет необходимости быть скучным. Автор надеется, что ему удалось избежать этих трех подводных камней. В своих объяснениях он постоянно основывается на принципах современной науки. Он решительно отказался от «упрощенчества» в ущерб истине.

Чтобы избежать академической сухости, автор использовал форму беседы, помогающей живому и легкому усвоению книги, а его долгая популяризаторская деятельность позволила ему предостеречь читателя от всевозможных ловушек.

Не претендуя на название руководства по конструированию, эта книга тем не менее будет полезна тем, кто хочет заняться практической работой по постройке радиоприемников. Решительно отбросив все уже устаревшее, автор поставил себе задачей объяснить читателю новые принципы, заложенные в современные приемники. Чтобы достичь этой цели, не увеличивая значительно объема книги и не перегружая читателя, автор должен был отказаться от обычной формы изложения и избежать многословия.

Несмотря на необычное оформление, эта книга представляет собой сжатое изложение очень важных технических сведений, и поэтому читать ее надо медленно, переходя к следующей странице только после того, как хорошо усвоено содержание предыдущей.

Если эта книга будет способствовать распространению знаний и привьет любовь к радио, автор будет счастлив — он внесет свой скромный вклад в дело распространения этой замечательной науки.

ЧТО НУЖНО ДЛЯ ХОРОШЕГО УСВОЕНИЯ?

Бо́льшая часть бесед, составляющих основную часть этой книги, сопровождается комментариями. Комментарии преследуют двоякую цель: в некоторых случаях углубить изложение и дополнить материал по ряду вопросов.

Чтобы хорошо усвоить содержание книги, следует после каждой беседы прочитать соответствующие комментарии. Можно, правда, при первом чтении их пропустить, но затем рекомендуется возобновить чтение, изучая после каждой беседы комментарии к ней.

Не следует прочитывать больше одной беседы в день. Надо дать «утрястись» свежим впечатлениям. Рекомендуется очень внимательно изучить все приведенные схемы. Детальное изучение всех цепей является наилучшим упражнением.

Тысячи людей в самых различных странах изучили радио по этой книге (только во Франции она разошлась в количестве 300 000 экз). При известном желании и настойчивости Вы последуете за ними и убедитесь, что наименование книги вполне себя оправдывает.

O



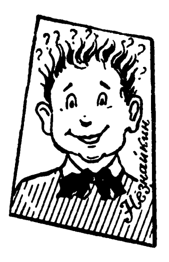
Действующие лица

Прежде всего — очень милый юноша, **Любознайкин,** который усвоил когда-то принципы радиотехники от своего дядюшки, инженера Радиоля. Автор рассказал об их беседах в книжке, которая, однако, в настоящее время уже устарела.

Сейчас Любознайкину 18 лет. Он не утратил ни былой пытливости, ни юношеских увлечений. Это опытный радиолюбитель, умеющий ясно излагать теорию радиотехники.

Незнайкин?.. Вы с ним не знакомы? Это воплощенное невежество. Окончательно порвав с математикой, он еле усвоил начала физики. Его всегда разрывают противоречия — желание узнать и страх, что он ничего не поймет. Однако, несмотря на свои 14 лет, он далеко не глуп. О, совсем нет! Вы в этом еще убедитесь...



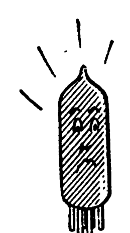


БЕСЕДА ПЕРВАЯ

В этой беседе изложены основные понятия об электричестве. Основываясь на электронной теории, Любознайкину удается очень ясно рассказать о строении вещества, что облегчит понимание последующих бесед.

НЕЗНАЙКИН БРОДИТ В ПОТЕМКАХ

Любознайкин. — Сядь, Незнайкин, я сейчас объясню, почему я тебя так срочно вызвал. Моя тетушка, которую я очень люблю, попросила меня собрать ей радиоприемник. Ты знаешь также, что сейчас я готовлюсь к экзаменам и у меня совсем мало времени. Могу ли я рассчитывать, что ты мне поможешь при постройке радиоприемника?



Незнайкин. — Очень охотно... только что я смогу сделать? Я ничего не понимаю в радиотехнике!

Л. — Радио?... Но это очень просто!.. К тому же я тебе все легко объясню. Смотри, вот схема радиоприемника, которую я начертил (рис. 1).

Н. — Но это дьявольски сложно.

Л. — А вот лампа, которую я купил для будущего радиоприемника. Тетушка постепенно отпустит все необходимые средства для покупки деталей.

Н. — Мне кажется, эта лампа никуда не годится. Ведь она совсем непрозрачная и, конечно, будет очень плохо светить.

Л. — Эх, ты, глупый, эта лампа вовсе и не предназначена для освещения. Это электронная усилительная лампа-триод с косвенным накалом.

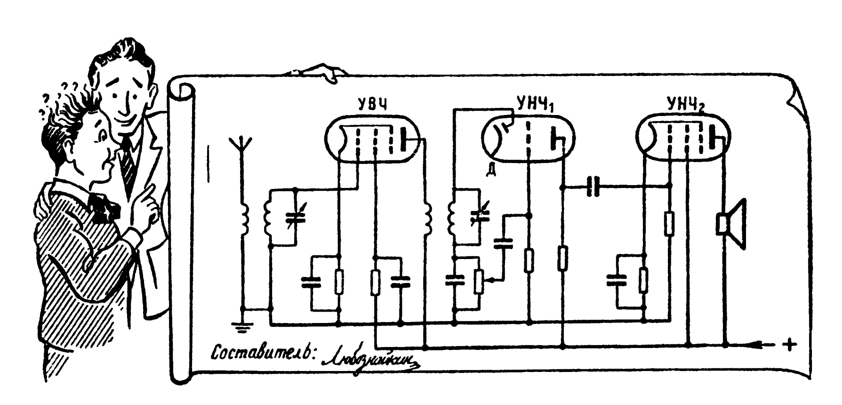
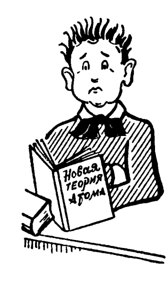


Рис. 1. Схема будущего приемника, вычерченная Любознайкиным.

Н. — Да ты просто издеваешься надо мной, употребляя эти непонятные слова. Я лучше уйду.

Л. — Подожди. Я тебе все по порядку объясню. Это особая лампа, в которой электроны перемещаются от отрицательного катода к положительному аноду.

Н. — Час от часу не легче! Выходит, что ток идет от отрицательного полюса к положительному. А почему же мне с детства внушали, что ток идет от положительного полюса к отрицательному? Как же все это понять?!



ЛЮБОЗНАЙКИН НАЧИНАЕТ С ОСНОВ

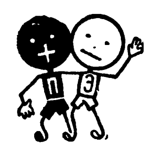
Л. — Теперь я вижу, что действительно надо начать с изложения основ электричества, так как у тебя об этом сложилось неправильное представление в результате изучения старых школьных учебников. По крайней мере знаешь ли ты, что такое атом?

Н. — Да, это самая маленькая частица вещества, которая поэтому неделима.

Л. — Я так и думал. Но это давно устарело, теперь уже точно известно, что атом состоит из еще более мелких частиц.

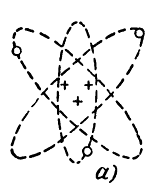
Н. — Которые в свою очередь, наверное, тоже делятся на более маленькие частицы?

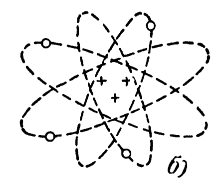
Л. — Возможно, что это будут изучать наши дети. Пока же считают, что атом состоит из электронов и ядра, состоящего в свою очередь из протонов и нейтронов. Электроны — это элементарные отрицательные заряды электричества, протоны — элементарные положительные заряды электричества, а нейтроны — частицы, не имеющие электрического заряда.

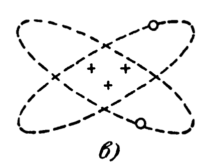


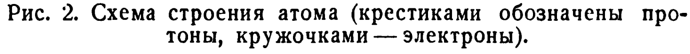
Н. — Так что же, они собраны в одну общую кучу?

Л. — Нет, это не так. Во-первых, они все находятся в движении, во-вторых, между ними существуют силы вазимодействия. Между одноименными зарядами (электронами и электронами, протонами и протонами) действуют силы отталкивания, а между электронами и протонами как разноименными частицами — силы притяжения.








Рис. 2. Схема строения атома (крестиками обозначены протоны, кружочками — электроны).

а — нейтральный атом; *б* — отрицательный атом; *в* — положительный атом.

Так как электроны движутся (как планеты вокруг Солнца) вокруг ядра (рис. 2), то в атоме силы отталкивания и притяжения уравновешиваются.

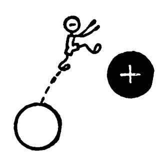

Н. — Это настоящая солнечная система в миниатюре!

Л. — Совершенно верно. Заметь теперь, что если в атоме имеется столько же электронов, сколько и протонов, то он ней-

трален. Если электронов больше, чем протонов, то отрицательный заряд превосходит положительный заряд и атом становится отрицательным. Наконец....

Н. — ...если меньше электронов, чем протонов, то атом будет положительным.

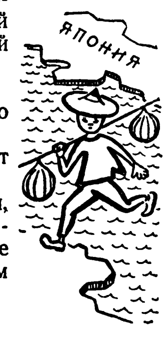
Л. — Отлично! Я вижу, что ты понял.



ЗДРАВЫЙ СМЫСЛ НА СТОРОНЕ РАВНОВЕСИЯ

Н. — Однако я хотел бы узнать, каким образом атом может оказаться положительным или отрицательным.

Л. — Электроны, которые находятся далеко от ядра, испытывают слабое притяжение и, попадая в сферу притяжения соседнего атома, у которого не хватает электронов, покидают свой собственный атом, чтобы дополнить, или уравновесить, соседний атом.



Н. — Это как японцы...

Л. — Я не вижу, при чем тут сыны Империи Восходящего Солнца...

Н. — Как же! Япония перенаселена, и японцы эмигрируют в страны, где плотность населения меньше.

Л. — Если тебе так нравится... Во всяком случае запомни, что электроны перемещаются от атомов, где они более многочисленны (или отрицательно заряженных атомов), к атомам, где электроны менее многочисленны (или положительно заряженным атомам).

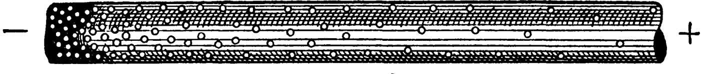
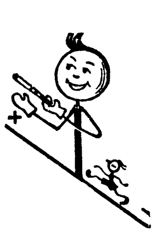


Рис. 3. Электрический ток — результат движения электронов, стремящихся восстановить электрическое равновесие в распределении зарядов.

Если каким-либо путем на одном конце металлической проволоки удастся сосредоточить отрицательно заряженные атомы (имеющие избыток электронов), а на другом — положительно заряженные (имеющие недостаток электронов), то электроны начнут перемещаться от одного атома к другому через все промежуточные атомы проволоки до момента установления равновесия (рис. 3). В каком направлении пойдут электроны?



Н. — Очевидно, от отрицательного конца к положительному.

Л. — Правильно. Такое упорядоченное движение электронов и называют электрическим током.

Н. — Поразительно. Вот теперь понятно, почему ток идет от отрицательного к положительному..., а наш учитель нам говорил...

Л. — Он говорил об условном направлении тока. В то время, когда надо было установить направление тока, произвольно выбрали направление от положительного полюса к отрицательному, потому что еще не было электронной теории. Запомни хорошо, что электроны движутся от отрицательного полюса к положительному.

6 000 000 000 000 000 000 электронов

Н. — Ты только что говорил о металлической проволоке. Я знаю, что электрический ток проходит только через металлы. Но почему это?

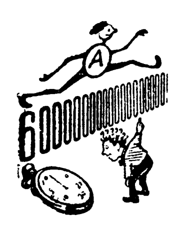
Л. — Ток проходит также через растворы кислот или щелочей и через уголь. Все эти вещества называются п р о в о д н и к а м и. Их атомы содержат много электронов, которые слабо связаны с ядром. Однако существуют другие тела, в которых электроны настолько сильно связаны с ядром, что они не могут покинуть атом. В этих телах, называемых и з о л я т о р а м и или д и э л е к т р и к а м и, не может образоваться электрический ток. Лучшими изоляторами, применяемыми в радио, являются кварц, эбонит, янтарь, бакелит, стекло, различные керамики, парафин. Между изоляторами и проводниками находятся п о л у п р о в о д н и к и, например германий или кремний, из которых изготавливают транзисторы. Но о них мы лучше пока не будем говорить, чтобы не спуталось все в твоей голове.

Н. — А какой самый лучший диэлектрик?

Л. — Сухой воздух.

Н. — А лучший проводник?

Л. — Серебро. Красная медь также является хорошим проводником и так как она стоит дешевле серебра, то используется чаще.



Н. — Почему серебро лучший проводник, чем медь?

Л. — Потому что в одинаковых условиях через серебряный провод будет проходить ток большей силы, чем через провод такого же размера, но из меди.

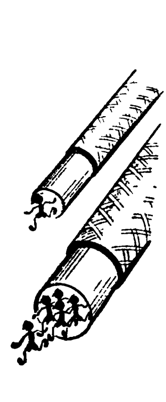
Н. — Что ты называешь «силой тока»?

Л. — Количество электронов, принимающее участие в движении, называется электрическим током.

Н. — Значит, можно говорить о токе силой в 10 электронов или в 1 000 электронов?

Л. — Да. Но практически измеряют силу тока в а м п е р а х (*а*). Один ампер соответствует прохождению 6 000 000 000 000 000 000 электронов в секунду. Я тебе говорю это, округляя цифры...

Н. — Спасибо!...



Л. — Пользуются очень часто также более мелкими единицами: м и л л и а м п е р о м (*ма*), равным 1/1 000 *а*, и м и к р о а м п е р о м (*мка*), равным 1/1 000 000 *а*. Как видишь, это очень просто.

Н. — Все это, наоборот, дьявольски сложно. А отчего же зависит сила тока?

Л. — От напряжения, приложенного к проводнику, и от сопротивления последнего.

СЛОВА МЕНЯЮТ СМЫСЛ

Н. — Я полагаю, что под «напряжением» и «сопротивлением» подразумевается что-то особенное. Вроде понятия о круге...

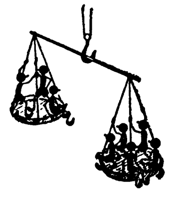
Л. — Причем тут круг?

Н. — Ну да! Пока я не изучал геометрию, я хорошо знал, что такое круг. Но с тех пор, как мне объяснили, что это «геометрическое место, все точки которого находятся на одинаковом расстоянии от данной точки», я перестал понимать...

Л. — В электротехнике сопротивление есть свойство проводника оказывать... более или менее большое сопротивление току,

Оно зависит от природы самого проводника, т. е. от числа электронов, легко отделяемых от его атомов. Сопротивление зависит также от длины проводника: чем больше его длина, тем больше сопротивление. Наконец, оно зависит от сечения проводника: чем больше сечение, тем больше электронов может проходить одновременно и, следовательно, сопротивление будет меньше *. Сопротивление измеряется в омах (*ом*), тысячах ом, или килоомах (*ком*) и миллионах ом или мегомах (*Мом*). 1 *ом* — это приблизительно сопротивление, которое имеет медная проволока длиной 62 *м* и сечением 1 *мм²*.

ФИЛОСОФСКИЕ ЗАМЕЧАНИЯ ОБ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ



Н. — А что такое напряжение?

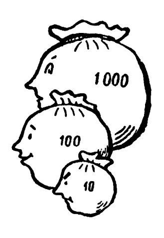
Л. — Напряжение — это в некотором роде давление, которое оказывает на электроны разница в электрическом состоянии концов проводника.

Н. — Это дьявольски сложно и неясно.

Л. — Да нет же, это очень просто. Как я тебе говорил, соотношение электронов и протонов определяет электрическое состояние или потенциал атома.

Представь себе, что у тебя два атома. В первом не хватает трех электронов, во втором — пяти.

Н. — Оба положительны. И, если я осмелюсь сказать, второй атом более положителен, чем первый.



Л. — Надо осмелиться, так как это так и есть. Но хотя оба атома положительны, можно также сказать, что относительно второго первый является отрицательным.

Н. — Вот так штука!... В жизни все относительно.

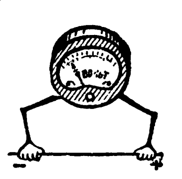
Л. — Конечно. Например, из двух людей, имеющих деньги, тот, кто имеет 10 руб., беден по сравнению с другим, у которого их сотни, но богат по сравнению с третьим, у которого все «богатство» — 1 000 руб. долгу.

В мире атомов тот атом, который лишен трех электронов, менее отрицателен по отношению к тому, у которого не хватает десяти электронов, и положителен по отношению к тому, который имеет избыток в два электрона. Потенциалы этих трех атомов различны.

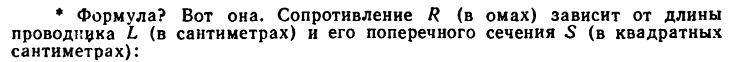
Н. — А разность потенциалов измеряется разницей в числе электронов?

Л. — Можно было бы так сделать. Но практически разность потенциалов, или, что равнозначно, напряжение, измеряется в вольтах (*в*).

Один вольт — это напряжение, которое, будучи приложено к концам проводника с сопротивлением 1 *ом*, создает ток силой 1 *а*.



Н. — Таким образом, если я хорошо понял, напряжение — это вид электрического давления, которое толкает электроны от одного конца проводника к другому?



* Формула? Вот она. Сопротивление R (в омах) зависит от длины проводника L (в сантиметрах) и его поперечного сечения S (в квадратных сантиметрах):

$$R = \rho \frac{L}{S}.$$

В этом выражении ρ — коэффициент, зависящий от материала проводника и называемый «удельным сопротивлением».

Л. — Совершенно верно. И ты легко догадаешься, что чем больше напряжение...

Н. — ... тем больше сила тока.

Л. — И, наоборот, чем больше сопротивление...

Н. — ...тем меньше сила тока.

Л. — Таким образом, мы только что вновь открыли основной закон электричества — з а к о н О м а. Сокращенно говорят, что ток равен напряжению, деленному на сопротивление *.

Н. — Я начинаю ощущать настоящий винегрет в моей черепной коробке. Электроны, протоны, сопротивление, ом, напряжение, вольт, сила тока, ампер, закон Ома... Все это дьявольски сложно.

Л. — Поразмысли об этом еще раз до нашей следующей встречи, и ты увидишь, что все это очень просто.

---

* А вот для математиков классическая формула закона Ома:

$$I = \frac{U}{R},$$

где I — сила тока, *а*;
U — напряжение между концами проводника, *в*;
R — сопротивление проводника, *ом*.

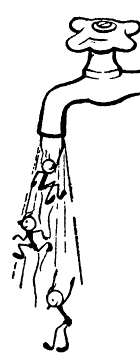


БЕСЕДА ВТОРАЯ

Незнайкин ничего не знал ни о переменном токе, ни об его частоте, ни об его периоде. Он ничего также не знал об электромагнетизме. Из этой беседы он узнает, что такое длина волны, электромагнит, магнитное поле... Он сможет так же хорошо, как и Любознайкин, объяснить, в чем заключается явление индукции.., потому что, как Вы увидите, Незнайкин очень одаренный мальчишка.

О ДВИЖЕНИИ ТУДА И ОБРАТНО

Незнайкин. — Последний раз, Любознайкин, ты мне рассказал об электронах, протононах и электрическом токе. Словом, обо всем, кроме радио!



Любознайкин. — Но, мой дорогой, в радиотехнике мы в основном и занимаемся электрическими токами, поэтому прежде всего следует знать основные законы, которые ими управляют.

Н. — А я-то думал, что радио — это наука главным образом о волнах!

Л. — Конечно, волны играют важную роль. Это они помогают установить связь между передающей и приемной антеннами без проводов на расстоянии. При передаче волны возбуждаются переменным током высокой частоты, протекающим в передающей антенне, а достигнув приемной антенны, они вызывают в ней подобный же ток, хотя и значительно более слабый.

Н. — Подожди. Вот ты говоришь о «переменном токе высокой частоты», не потрудившись объяснить смысл этого термина.

Л. — Не торопись. Ты же видишь, что необходимо сначала изучить электричество, прежде чем бросаться очертя голову в радио...

До сих пор мы говорили только о п о с т о я н н о м токе, т. е. о таком токе, который идет всегда в одном направлении с постоянной силой.

Н. — Как вода, которая течет из открытого крана?

Л. — Да, если тебе так нравится... Но представь себе, что какая-то электрическая машина (генератор переменного тока)

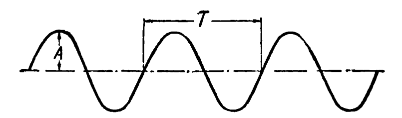


Рис. 4. Кривая напряжения переменного тока.
А — амплитуда; *Т* — период.

или другое какое-либо устройство периодически меняет полярность на концах проводника. Каждый конец поочередно становится положительным, затем его потенциал уменьшается, приближается к нулю и становится отрицательным. Достигнув максимума, он уменьшается, снова приближается к нулю, становится положительным, увеличивается, проходит через максимум, называемый а м п л и т у д о й, и все начинается сначала (рис. 4),

Н. — Это очень похоже на качели, которые сначала взлетают кверху, затем опускаются, проходят самое низкое положение, снова поднимаются, но уже с другой стороны и т. д.

Л. — Твое сравнение очень удачно. Ты понимаешь, что ток, который будет вызван в проводнике таким напряжением, называемым переменным, также будет переменным, т. е. его направление будет периодически изменяться, а интенсивность в каждый данный момент будет пропорциональна напряжению.

Н. — Если я правильно понял, в переменном токе электроны совершают бесконечные движения туда и обратно.

Л. — Да. А время, в течение которого электроны перемещаются 1 раз туда и обратно, называется **периодом**.

Н. — А сколько длится один период?

Л. — Используются токи с периодами как 0,02, так и 0,000 000 000 01 *сек*. Все зависит от частоты тока.

Н. — Что это такое?

Л. — **Частотой** называют число периодов в секунду. Это значит, что если период длится $^1/_{50}$ *сек*, то в 1 *сек* уложится 50 периодов и мы можем сказать, что частота равна 50 периодам в секунду.

Единице частоты присвоили имя Герца, который первый экспериментально получил электромагнитные волны. Таким образом, один **герц** соответствует одному периоду в секунду. Кратные единицы называются **килогерц** (1 000 герц) и **мегагерц** (1 000 000 герц). Сокращенно они обозначаются *гц*, *кгц* и *Мгц* соответственно.



В МИРЕ ВОЛН

Н. — Теперь я начинаю понимать то, что ты говорил относительно переменного тока высокой частоты.

Л. — Так называют токи, частота которых более 10 000 *гц*. Когда такие токи циркулируют в проводнике, они производят электромагнитные волны. Отделяясь от проводника, волны рас-

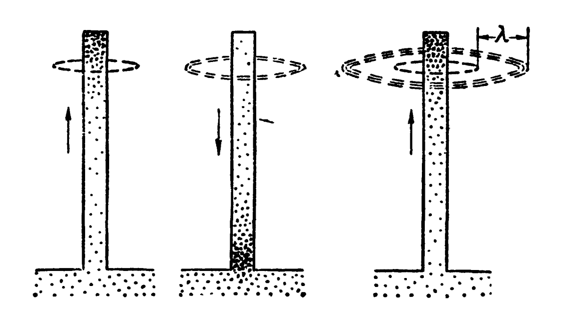


Рис. 5. Движение электронов в антенне и образование волн.

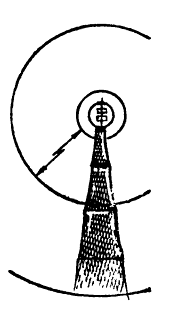
пространяются в виде колец, радиус которых увеличивается со скоростью 300 000 000 *м/сек* (рис. 5).

Н. — Но ведь это скорость распространения света!

Л. — Конечно, свет также является электромагнитными волнами, но их длина короче, чем у радиоволн.

Н. — Что же называется длиной волны?

Л. — Это расстояние между двумя электромагнитными кольцами, которые последовательно отделяются от антенны. За каждый период тока высокой частоты отделяется одно кольцо. Таким, образом, в момент, когда второе кольцо отделяется от антенны, первое уже прошло некоторое расстояние, называемое длиной волны, которое равно...



Н. — ... скорости, умноженной на время. В данном случае скорость равна 300 000 000 *м/сек,* а время между двумя последовательными волнами — периоду тока. Итак, длина волны равна скорости распространения, умноженной на период.

Л. — Поздравляю. Можно также сказать, что д л и н а в о л н ы равна расстоянию, пройденному в 1 *сек,* деленному на число волн, излученных в секунду, или, иными словами, на частоту *.

Н. — Это можно сравнить с двумя бегущими по улице мальчиками, которых я только что видел.

Л. — Как это?

Н. — Ну, да. Один из них большой, с длинными ногами, а другой — совсем маленький. Они бежали, держась за руки, т. е. с одинаковой скоростью. У большого шаги длинные, но их ритм реже, чем у маленького, который семенил рядом. Значит, это доказывает, что чем длина волны (длина шага) больше, тем частота (количество шагов в секунду) меньше и наоборот.

Л. — Сравнение совершенно правильное.



О НЕВИДИМЫХ ВЕЩАХ

Н. — Все-таки некоторые вещи мне неясны. Что это за кольца, которые ты называешь электромагнитными волнами?

Л. — Я не знаю точно и даже у ученых нет об этом единого мнения. Однако известно, что вокруг проводника, по которому проходит электрический ток, возникает электромагнитное поле,

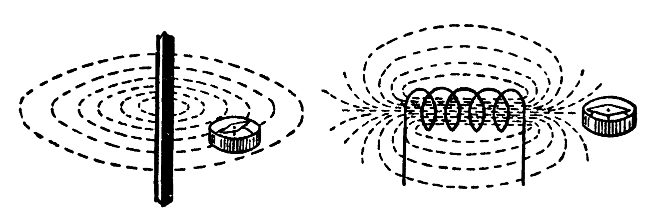
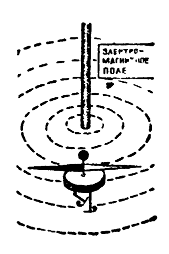
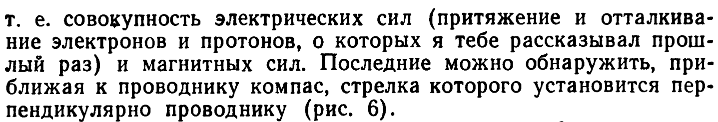


Рис. 6. Магнитное поле прямолинейного проводника и катушки.





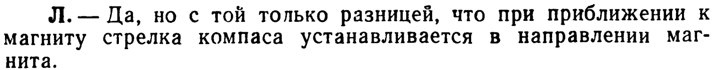
т. е. совокупность электрических сил (притяжение и отталкивание электронов и протонов, о которых я тебе рассказывал прошлый раз) и магнитных сил. Последние можно обнаружить, приближая к проводнику компас, стрелка которого установится перпендикулярно проводнику (рис. 6).

Н. — Значит, это то же, что и поле магнита?

---

* А вот формулы... для тех, кто их любит. Обозначая через T период, через f — частоту, а через λ — длину волны, мы можем установить следующие соотношения:

$$f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f}; \quad \lambda = 300\,000\,000\, T = \frac{300\,000\,000}{f}.$$



Л. — Да, но с той только разницей, что при приближении к магниту стрелка компаса устанавливается в направлении магнита.

Н. — Разве можно рассматривать проводник, через который проходит ток, как магнит?

Л. — Да. Однако его магнитная сила невелика. Чтобы ее усилить, необходимо намотать из проволоки катушку. Таким образом мы получим э л е к т р о м а г н и т, который можно сделать значительно мощнее обычного магнита. Можно также снабдить его железным или стальным сердечником, который, сгущая магнитное поле, усилит его интенсивность.

Н. — Зависит ли полярность такого магнита от направления тока?

Л. — Да. Если, например, для данного направления тока полюс электромагнита притягивает северный полюс стрелки компаса, то при изменении направления тока электромагнит притянет южный полюс. Магнитное поле имеет направление, зависящее от направления тока, который его создает.



Н. — Таким образом, если я хорошо понял, электромагнитные волны это не что иное, как поля, покинувшие ток, который их создал. Эти поля прогуливаются в пространстве со скоростью 300 000 000 *м/сек.* Но как их принимают?



ОБРАТИМЫЕ ЯВЛЕНИЯ

Л. — В природе существует большое количество явлений, называемых «обратимыми». Примером может служить создание магнитного поля посредством тока. Если ток создает поле, то поле или, точнее, и з м е н е н и я магнитного поля создают ток в проводнике, находящемся в поле.

Н. — Значит, электромагнитные волны вызовут появление тока в любом проводнике, расположенном на их пути?

Л. — Несомненно. Так, например, в металлических трубках, образующих основу моего кресла, наводятся в данный момент

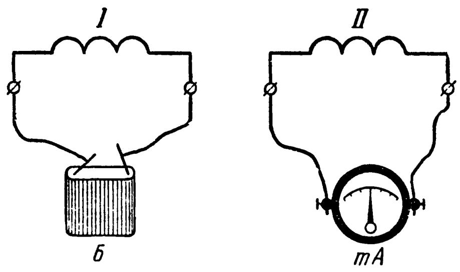


Рис. 7. Индуктивное соединение первичной *I* и вторичной *II* катушек.

Б — гальваническая батарея; *mA* — миллиамперметр.



токи высокой частоты, вызываемые всеми работающими в настоящее время передатчиками.

Н. — И, садясь на этот «электрический стул», ты не боишься быть убитым электрическим током?

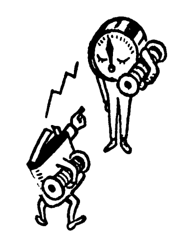
Л. — Нет, так как эти токи крайне незначительны благодаря большому расстоянию, отделяющему нас от различных передатчиков, волны которых прибывают сюда с очень слабым полем.

Н. — Извини меня, но все это мне кажется дьявольски сложным.

Л. — Чтобы доказать тебе, как это просто, я сейчас покажу один классический опыт. Смотри: вот две катушки, которые я только что купил для приемника, вот батарейка от моего карманного фонаря, а вот миллиамперметр.

Н. — Что это такое?

Л. — Ты мог бы и сам догадаться. Это прибор, служащий для измерения силы тока. Я соединяю батарейку *Б* с первой катушкой, а миллиамперметр *mA* — со второй (рис. 7) и связываю обе катушки между собой.



Н. — Да нет же! Они не связаны, так как между ними есть расстояние.

Л. — Ты ошибаешься, дружище. Связь, о которой идет речь, — это э л е к т р о м а г н и т н а я   с в я з ь: вторая катушка находится в поле первой. Впрочем, ты это сейчас увидишь.

ОБ ИНДУКЦИИ

Н. — Я все же считаю, что ты ошибаешься, так как если бы вторая катушка находилась в поле первой, должен был бы появиться ток в соответствии с тем, что ты только что говорил относительно создания тока полем. Стрелка же миллиамперметра стоит на нуле.



Л. — Не говорил ли я тебе, что ток возникает только благодаря и з м е н е н и я м   п о л я? Через первую катушку проходит постоянный ток, поле тоже постоянное, и нет оснований для появления тока во второй катушке.

А теперь внимание! Я отсоединяю батарейку первой катушки.

Н. — Невероятно! Стрелка миллиамперметра качнулась вправо, указывая на наличие тока малой длительности.

Л. — Этот ток вызван тем, что поле исчезло, т. е. изменилось от некоторой величины до нуля. А теперь я снова включаю батарейку.

Н. — Стрелка сдвинулась, но влево.

Л. — Потому что возникло поле, что является изменением, противоположным по знаку по сравнению с предыдущим случаем. Если вместо того, чтобы включать и выключать батарейку, я пропустил бы через первую катушку переменный электрический ток...

Н. — ... то поле постоянно менялось бы, и во второй катушке также появился бы переменный ток.



Л. — Ты должен знать, что ток, который создает поле, называется и н д у к т и р у ю щ и м, а ток, создаваемый полем, и н д у к т и р о в а н н ы м, или наведенным током. А само явление наведения одного тока другим называется э л е к т р о м а г н и т н о й   и н д у к ц и е й.

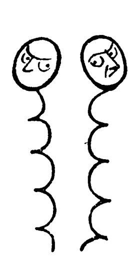
Н. — Словом, допустим, что первая катушка — это ты, а вторая — я. Ток твоих мыслей с помощью звукового поля слов наводит ток мыслей в той же форме у меня, т. е. происходит своеобразная индукция.

Л. — Да, твои рассуждения правильны.

БЕСЕДА ТРЕТЬЯ

Продолжая изучение явления индукции, Любознайкин подведет Незнайкина к «открытию» самоиндукции, влияние которой создает препятствие прохождению переменных токов. Затем, прибегая к очень выразительным аналогиям, наши два друга изучают свойства конденсаторов. Анализируя различные факторы, от которых зависит емкость, Незнайкин оценит «емкость» своего собственного понимания.

ИНДУКЦИЯ РАВНОСИЛЬНА ПРОТИВОДЕЙСТВИЮ



Незнайкин. — Я много думал о том, что ты рассказал об индукции. Я хорошо понял, что изменение тока в одной катушке ведет к возникновению индуктированного тока в другой. Но каковы направление и сила индуктированного тока?

Любознайкин. — Индуктированный ток, надо тебе сказать, обладает очень плохим «характером»: он находится всегда в противоречии с индуктирующим током. Если последний течет, увеличиваясь в одном направлении, то индуктированный ток потечет в противоположном направлении (рис. 8).

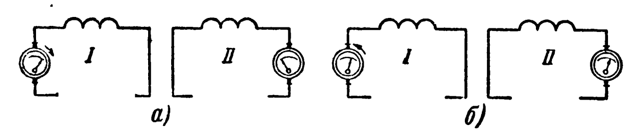


Рис. 8. Направление тока индукции.

а — увеличение тока в катушке *I* вызывает в катушке *II* ток противоположного направления; *б* — уменьшение тока в катушке *I* вызывает в катушке *II* ток того же направления.





Н. — Можно ли сказать, что если в индуктирующей катушке ток течет в направлении часовой стрелки, то индуктированный ток потечет в противоположном направлении?

Л. — Точно! А когда индуктирующий ток уменьшается, индуктированный ток идет в том же направлении, стараясь воспрепятствовать уменьшению первого.

Н. — Это как собака моего дядюшки.

Л. — Еще одна выдумка!

Н. — Совсем нет. Собака, о которой пойдет речь, упряма, как осел... Каждое утро, когда мой дядюшка занимается гимнастикой, он бегает вокруг сада со своей собакой, держа ее на поводке. Вначале, когда он ускоряет бег, собака тянет его назад и сдерживает движение. Затем, когда он, устав, хочет замедлить свой бег, животное заставляет его ставить рекорды.

Л. — Мне кажется, эту историю ты только что выдумал. Тем не менее она доказывает, что ты понял явление индукции. Ты мог бы также добавить, что чем быстрее твой дядюшка ускорял или замедлял бег, тем сильнее была реакция его собаки, так как

величина индуктированного тока пропорциональна скорости изменения индуктирующего тока, а также его величине.

Н. — Может быть, это и глупо то, что я скажу, но мне кажется, что если одна катушка индуктирует ток в витках другой, более или менее удаленной, то тем более она должна индуктировать ток в своих собственных витках.



Л. — Мой дорогой Незнайка, ты только что заново открыл явление с а м о и н д у к ц и и. Поздравляю! Действительно, индуктированный ток появляется также и в той катушке, по которой течет индуктирующий ток. В этой катушке индуктированный ток сосуществует с индуктирующим и противодействует его изменениям в силу своего «духа противоречия».

Н. — Это совсем как в «психологических» романах, в которых «внутренний голос» постоянно противопоставляет свои доводы сентиментальным движениям героя.

Л. — Лучше бы ты прочел хорошую книжку по электричеству. Ты бы увидел, что самоиндукцию лучше сравнить с механической инерцией. Так же, как инерция всегда противодействует

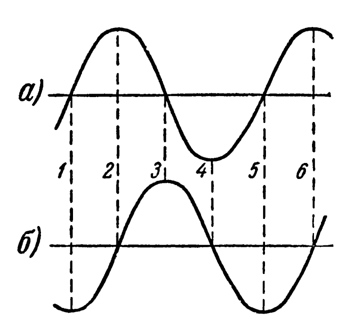
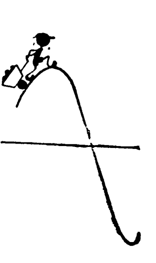


Рис. 9. Иллюстрация явления индукции.

а — переменный ток; *б* — кривая индуктированного тока. *1* — индуктирующий ток увеличивается очень быстро, индуктированный ток имеет противоположное направление; *2* — индуктирующий ток не меняется в течение короткого промежутка времени, индуктированный ток равен нулю; *3* — индуктирующий ток уменьшается, индуктированный ток течет в том же направлении; *4* — индуктирующий ток не меняется в течение короткого промежутка времени, индуктированный ток равен нулю; *5* и *6* — тоже, что *1* и *2*.

началу движения какого-либо тела и стремится удержать его в этом состоянии движения, так и самоиндукция противодействует появлению тока в обмотке (возрастающий ток вызывает индуктированный ток противоположного направления) и стремится поддержать существующий ток, когда он начинает уменьшаться (ток, который уменьшается, индуктирует ток того же направления).

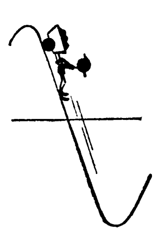


Н. — Так значит переменный ток, постоянно меняющий свою величину и направление, испытывает затруднения при прохождении через катушку?

Л. — Конечно, так как самоиндукция противодействует его изменениям (рис. 9). Сопротивление, которое появляется в результате явления самоиндукции, называется и н д у к т и в н ы м с о п р о т и в л е н и е м. Не надо его путать с простым активным сопротивлением проводника. Индуктивное сопротивление зависит от коэффициента самоиндукции катушки, т. е. от индуктивного действия каждого витка на другие, а также от частоты тока.

Н. — Почему же?

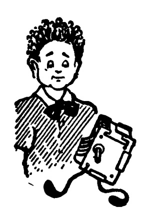
Л. — Ведь это очень просто! Чем больше частота, тем изменения тока происходят быстрее, следовательно, тем сильнее и индуктированные токи, которые противодействуют этим изменениям.



Н. — Таким образом, для высоких частот индуктивное сопротивление катушки больше, чем для низких? Это нужно знать, так как я вижу, что чем дальше, тем сложнее.

Л. — Однако я тебе еще ничего не говорил о конденсаторах.

ПОГОВОРИМ НЕМНОГО О КОНДЕНСАТОРАХ



Н. — Я очень хорошо знаю, что это такое. Я их видел в радиоприемниках. Можно сказать, что это прибор с круглыми пластинами, одни из которых могут вращаться, а другие остаются неподвижными.

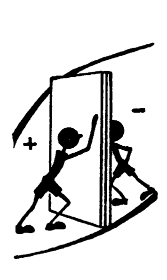
Л. — Да. Это конденсаторы переменной емкости. Имеются также конденсаторы постоянной емкости, пластины которых всегда неподвижны, так что их емкость постоянна.

Н. — Емкость? Вероятно, еще один термин, который надо понять и выучить?

Л. — Знаешь, дружище, конденсатор — вещь очень простая. Это система из двух взаимно изолированных электродов, к которым прикладывается некоторое напряжение.

Н. — Я не знаю, почему два изолированных друг от друга электрода заслуживают наименования конденсатора.

Л. — Конденсатор можно сравнить с двумя резервуарами, разделенными эластичной резиновой мембраной (рис. 10). Насос,



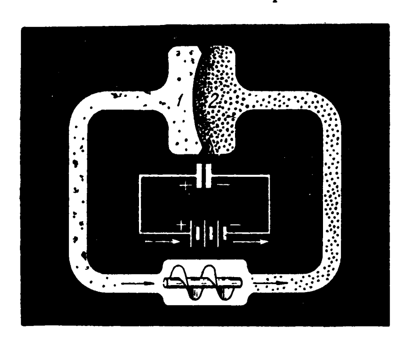
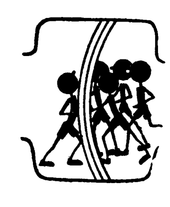


Рис. 10. Два резервуара, разделенные эластичной перегородкой, похожи на электрический конденсатор. Насос, создающий разность давлений, аналогичен электрическому элементу, который создает разность потенциалов.

действующий в течение короткого промежутка времени, создает между этими резервуарами разность в давлении.

Н. — Я догадываюсь, к чему ты ведешь. Насос — это гальванический элемент. Резервуары *1* и *2* представляют собой две пластины конденсатора, а разность давлений соответствует разности потенциалов.

Л. — Ты догадался. Только, как и все аналогии, моя тоже годится до определенного момента. Действительно, если речь идет о резервуарах, наполненных воздухом, то в резервуаре *2* будет больше молекул, равномерно распределенных во всем объеме, а в резервуаре *1* их будет значительно меньше.



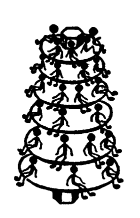
Н. — Мне кажется, что электроны тоже распределятся таким же образом.

Л. — Ты ошибаешься. Так как атомы пластины *1* положительны (недостаток электронов), они притянут через тонкую перегородку, которая их разделяет, электроны с пластины *2* таким образом, что последние соберутся в той части пластины *2*, которая обращена к пластине *1*. Такое уплотнение электронов и позволяет накопить в пластинах конденсатора электрические заряды, более значительные, чем те, которые получились бы без этого притяжения электронов положительными атомами.

Н. — Значит, если я хорошо понял, основным свойством конденсатора является накопление электрических зарядов на его пластинах.

Л. — Да. Это свойство называется е м к о с т ь ю конденсатора. Как ты думаешь, отчего зависит ее величина?

Н. — Я думаю, что емкость зависит от толщины мембраны. Чем она тоньше, тем больше она может изогнуться и, следовательно, оставить больше места для молекул газа в резервуаре *2*.

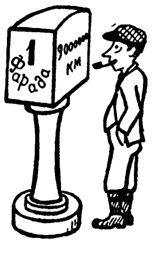


Л. — Правильно. Применительно к конденсатору мы скажем, что его емкость обратно пропорциональна расстоянию между пластинами. Но возвратимся к нашим резервуарам; как ты думаешь, зависит ли емкость также от свойств эластичной мембраны?

Н. — Конечно, Гибкость резиновой мембраны, например, больше, чем жестяной.

Л. — Следовательно, емкость конденсатора зависит также от свойств диэлектрика, разделяющего пластины. Числовой коэффициент, который характеризует способность диэлектрика увеличивать емкость, называется его д и э л е к т р и ч е с к о й п р о н и ц а е м о с т ь ю. Для воздуха она равна 1, а для слюды — 8. Таким образом, если в конденсаторе с воздушным диэлектриком емкостью 10 пикофарад поместить между пластинами листок слюды, то емкость увеличится до 80 пикофарад.

Н. — Разве емкость измеряют в пикофарадах?



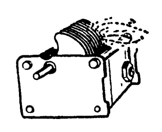
Л. — Единицей измерения емкости является ф а р а д а (*ф*). Однако практически это очень большая емкость. Поэтому пользуются ее производными: м и к р о ф а р а д о й (*мкф*), составляющей миллионную долю фарады, или п и к о ф а р а д о й (*пф*), составляющей миллионную долю микрофарады *.

Н. — Эта система единиц дьявольски сложна. Однако вернемся к тому, от чего зависит емкость. Мне кажется, что она зависит еще от площади мембраны: чем она больше, тем больше сфера действия положительных атомов на электроны **.

Л. — Действительно, емкость пропорциональна площади пластин.

Н. — Я полагаю, что емкость зависит также и от толщины пластин, ибо при большем объеме они могут содержать большее число электронов.

Л. — Вот тут ты ошибаешься, друг мой. Здесь имеет значение не объем, а площадь пластин, на которых накапливаются положительные и отрицательные заряды.



Н. — Словом, чтобы увеличить емкость конденсатора, можно или увеличить площадь пластин, или приблизить их друг к другу. Таким образом, даже при очень маленьких пластинах можно, я думаю, получить большую емкость, если сильно сблизить их.

Л. — Это очень опасно! Если слишком уменьшить толщину мембраны, то наступит момент, когда вследствие давления она лопнет.

Между двумя же сильно сближенными пластинами напряжение вызовет появление искры. Электроны при слишком сильном притяжении могут пробить диэлектрик.

Н. — Словом, плохой конденсатор может явиться хорошей «электрической зажигалкой».



---

* Для измерения емкости раньше пользовались другой единицей, называемой сантиметром (*см*), которая, однако, не имеет ничего общего с единицей измерения длины того же названия (1 *пф*=0,9 *см*).

** Емкость конденсатора (в пикофарадах)

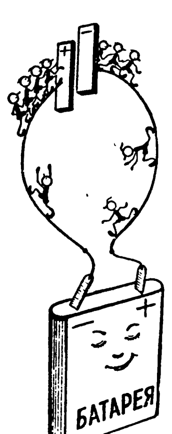
$$C = 0{,}0885\varepsilon \frac{s}{a},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость;
s — площадь одной пластины, *см*²;
a — расстояние между пластинами, *см*.

БЕСЕДА ЧЕТВЕРТАЯ

Незнайкин поражен, что переменный ток проходит через конденсаторы, которые представляют переменному току некоторое емкостное сопротивление. Он начинает путаться в различных видах сопротивлений. Однако читатель не должен следовать такому плохому примеру и легко поймет рассуждения Любознайкина.

ТОК ПРОХОДИТ!..



Незнайкин. — Прошлый раз ты говорил о конденсаторах, и, если я хорошо понял, когда присоединяют две пластины конденсатора к электрической батарее, на этих пластинах накапливаются заряды.

Любознайкин. — Это правильно. В таком случае говорят, что конденсатор з а р я ж е н.

Н. — Значит, когда мы подключаем конденсатор к источнику тока, в цепи проходит некоторый з а р я д н ы й т о к. Но продолжает ли проходить ток, когда конденсатор заряжен?

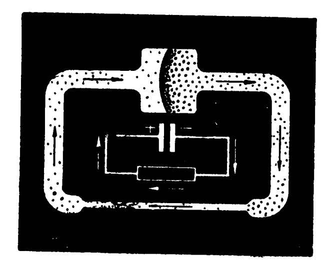


Рис. 11. Разряд конденсатора через резистор.

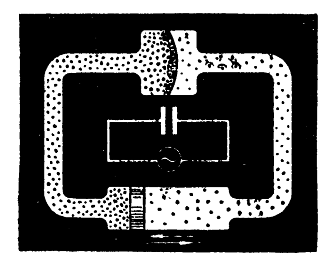
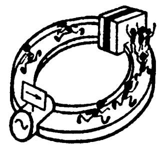
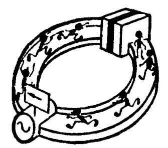


Рис. 12. Прохождение переменного тока через конденсатор.





Л. — Нет, все прекращается. С другой стороны, подключив к конденсатору вместо батареи сопротивление, можно произвести р а з р я д конденсатора.

Н. — Как это?

Л. — Очень просто. Надо только дать возможность электронам, находящимся в избытке на отрицательной пластине, восполнить недостаток их в атомах положительно заряженной пластины. Ток небольшой длительности, который пойдет при этом через сопротивление, называется т о к о м р а з р я д а.

Н. — Значит, конденсатор — это вид пружины, которую можно натянуть и которая затем при отпускании ослабевает, отдавая запасенную энергию.

Л. — Я тебе напомню, что прошлый раз мы использовали пример, сравнивая конденсатор с двумя резервуарами, разделен-

ными эластичной мембраной. Разряд конденсатора через сопротивление можно сравнить с выпрямлением мембраны, которая при этом гонит воду через узкую трубу (рис. 11).

Н. — Может быть, это и очень забавно заряжать и разряжать конденсатор, но, по правде говоря, я не вижу пользы от этого занятия. Раз произошел разряд, то это уже конец. Не правда ли?



Л. — Да — если имеется источник постоянного тока, нет — если используется генератор переменного тока. В нашем примере эта машина может быть представлена в виде поршня, движущегося взад и вперед (рис. 12).

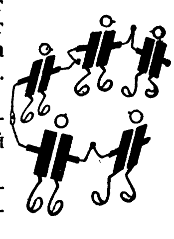
Н. — Я понимаю. Перемещаясь к правому или левому концу цилиндра, поршень заряжает конденсатор, т. е. искривляет мембрану, возвращаясь в среднее положение, он ослабляет мембрану, т. е. разряжает конденсатор.

Л. — Ты видишь, что при этом в нашей цепи происходит непрерывное переменное движение электронов, т. е. получается настоящий переменный ток.

Н. — И это, несмотря на присутствие в цепи конденсатора, который в некотором роде разрывает цепь.

РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Л. — Электрики даже говорят, что переменный ток проходит через конденсатор. Это вовсе не значит, что электроны проходят через диэлектрик (мембрану, см. рис. 12). Наличие конденсатора лишь не препятствует движению взад и вперед электронов, т. е. прохождению переменного тока в цепи.



Н. — Нужно некоторое время, чтобы я привык к этому понятию, так как все-таки, по моему мнению, какой бы эластичной мембрана ни была, она является препятствием.

Л. — Конечно! Емкостным сопротивлением и назвали то сопротивление, которое конденсатор оказывает переменному току.

Н. — Ну вот еще один термин, да к тому же опять страшно сложный.

Л. — Наоборот, все это в сущности очень просто. Ты легко догадаешься сам, от чего зависит емкостное сопротивление.

Н. — Я полагаю, что оно зависит от емкости. Чем эластичнее мембрана, тем она больше изгибается и тем самым дает возможность большему количеству электронов входить с одной стороны и выходить с другой.



Л. — Итак, чем больше емкость, тем переменный ток легче проходит через конденсатор, и тогда мы говорим, что емкостное сопротивление меньше.

Н. — Как раз противоположно тому, что происходит при индуктивном сопротивлении, которое возрастает с увеличением индуктивности катушек. Ну, а в действительности разве емкостное сопротивление, так же как и индуктивное, не зависит от частоты тока?



Л. — Конечно, чем больше частота, тем больше зарядов и разрядов конденсатора происходит в секунду и, следовательно, больше электронов проходит через поперечное сечение цепи в секунду.

Н. — Значит, ток возрастает с увеличением частоты; именно это и доказывает, что емкостное сопротивление увеличивается.

Но, дорогой Любознайкин, много ли еще у тебя в запасе всяких сопротивлений? Я чувствую, что мое сильно уменьшается.

Л. — Успокойся, теперь ты уже знаешь три вида сопротивлений, имеющихся в электрорадиотехнике.

Чтобы лучше понять их свойства, позволь привести тебе маленькую табличку.

Активное сопротивление	Не зависит от частоты	
Индуктивное сопротивление	Прямо пропорционально индуктивности	Прямо пропорционально частоте
Емкостное сопротивление	Обратно пропорционально емкости	Обратно пропорционально частоте

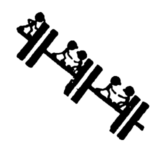
Н. — Со свойствами различных видов сопротивлений, положим, я разберусь, но мне бы хотелось увидеть их в том наборе деталей, которые ты уже начал приобретать для приемника.

Л. — Желание законное, хотя оно свидетельствует о том, что ты еще не все понял.

В отличие от активного сопротивления, присущего тому или иному конкретному материалу проводника, индуктивное и емкостное сопротивления называют р е а к т и в н ы м и. Эти как бы кажущиеся сопротивления катушек или конденсаторов появляются только тогда, когда через них проходит переменный ток. Активное же сопротивление существует в виде детали. Посмотри на эти цилиндрики с выводами для припайки. Это — активные сопротивления. Они называются р е з и с т о р а м и.

Н. — А можно ли комбинировать различные виды сопротивлений?

Л. — Конечно. Впрочем, по правде говоря, мы довольно редко имеем дело с сопротивлением только одного вида. Так, например, катушка, кроме индуктивного, обладает также некоторым активным сопротивлением, которое зависит от длины, диаметра и материала проволоки. Катушка имеет также «распределенную емкость», образующуюся между соседними витками, которые как бы образуют пластины конденсатора.



СЕМЕЙНАЯ ЖИЗНЬ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Л. — В радиотехнике встречается большое количество различных соединений активного, емкостного и индуктивного сопротивлений.

Н. — В этом случае их величины складываются?

Л. — Увы. Не так все просто. Существует два основных способа включать различные сопротивления в электрическую цепь. Рассмотрим это на примере соединения резисторов.

Первый способ (рис. 13, *а*) состоит в том, что резисторы (на схемах они обозначаются узким прямоугольником и буквой *R*) соединяют п о с л е д о в а т е л ь н о таким образом, чтобы ток проходил через них поочередно.

Второй способ предполагает п а р а л л е л ь н о е соединение (рис. 13, *б*). При этом ток от источника разделяется на столько токов, сколько ветвей в разветвлении; в каждой ветви ток будет тем больше, чем меньше сопротивление резистора.

Н. — Подобно этому, если течение реки разделить на две

ветви островом, то в ветви с бо́льшим руслом потечет больше воды.

Л. — Ты понимаешь, что два соединенных последовательно резистора...

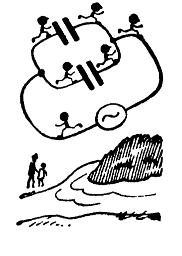
Н. — ... соответствуют сопротивлению, равному сумме сопротивлений этих резисторов.

Л. — Верно. А если они соединены параллельно?

Н. — Ну и что же! Я думаю, что в этом случае электронам будет легче проходить. Как если бы имелся проводник, у которого сечение равно сумме сечений разветвленных проводников. А раз так, то сопротивление этого участка уменьшится. Я думаю, что то же будет и для емкостного и индуктивного сопротивлений.

Л. — Ты не ошибаешься.

Н. — Следовательно, при последовательном соединении сопротивления резисторов, индуктивности и емкости складываются,



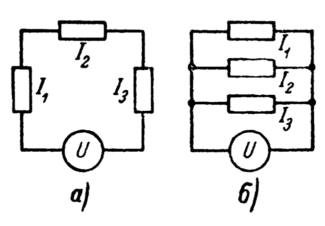


Рис. 13. Схемы соединения резисторов.

а — последовательная; *б* — параллельная.

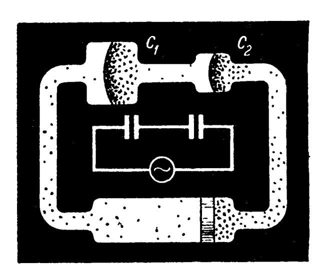
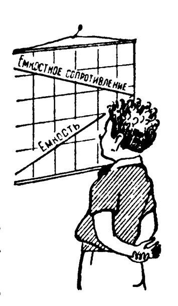


Рис. 14. Последовательное соединение конденсаторов.



а при параллельном общая величина, наоборот, будет меньше, чем каждая из величин, взятая в отдельности.

Л. — Ты забегаешь вперед, приписывая катушкам и конденсаторам те же свойства, что и их кажущимся сопротивлениям. Это справедливо, если ты говоришь о резисторах и катушках, для которых индуктивное сопротивление пропорционально их индуктивности. Но для конденсаторов это не так, так как емкостное сопротивление обратно пропорционально емкости. Значит, если при последовательном соединении емкостные сопротивления складываются, то общая емкость, наоборот, уменьшается.



Н. — Вот это да!

Л. — Я вижу, что совершенно бесполезно взывать к твоей математической интуиции... Смотри же (рис. 14), вот два последовательно соединенных конденсатора C_1 и C_2. Заметь, что емкость у C_2 меньше, чем у C_1, так как мембрана у C_2 меньше. Следовательно, общее количество жидкости, которое поршень может переместить, ограничено величиной конденсатора C_2. Что же касается конденсатора C_1, то хотя он и мог бы накопить большее количество жидкости, но получит ее столько, сколько пропустит конденсатор C_2 или даже немного меньше из-за преодоления напряжения своей собственной мембраны. Значит, при последовательном включении конденсаторов общая емкость системы C_1 и C_2 будет меньше, чем емкость одного конденсатора C_2.

Н. — А при параллельном соединении емкости конденсаторов складываются, так как это соответствует как бы увеличению поверхности мембраны.

Л. — Правильно. Наконец-то ты понял.

БЕСЕДА ПЯТАЯ

Любознайкин вносит некоторую ясность в размышления Незнайкина, приводя таблицу, в которой показаны схемы последовательного и параллельного соединений резисторов, катушек и конденсаторов и даны значения активных, реактивных сопротивлений для этих случаев соединений. Затем два друга подходят к проблеме резонанса — основного явления в радиотехнике. Любознайкин обращает внимание Незнайкина на некоторые моменты, которые облегчат в дальнейшем изучение радиоцепей.

МАТЧ — ИНДУКТИВНОСТЬ ПРОТИВ ЕМКОСТИ

Незнайкин. — Я очень рад встретиться опять с тобой. Наша последняя беседа оставила в моей голове такой туман, что я меньше, чем когда-либо, осмеливаюсь приступить к конструированию радиоприемника для твоей тетушки.

Последовательное соединение	*Параллельное соединение*
R_1, R_2	R_1, R_2
$R = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
L_1, L_2	L_1, L_2
$L = L_1 + L_2$	$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
C_1, C_2	C_1, C_2
$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	$C = C_1 + C_2$
Полное сопротивление	
$Z = Z_1 + Z_2$	$Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$

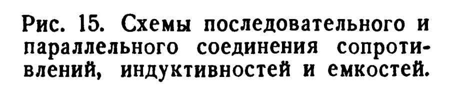


Рис. 15. Схемы последовательного и параллельного соединения сопротивлений, индуктивностей и емкостей.

Любознайкин. — Это можно было предвидеть. Поэтому я сейчас покажу тебе таблицу (рис. 15), в которой приведены схемы последовательного и параллельного соединений резисторов, конденсаторов, катушек и даны определения величин для указанных случаев соединений, а также значения суммарной величины активного, индуктивного и емкостного сопротивлений.

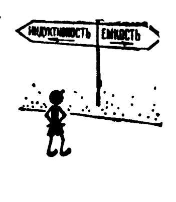
Н. — Спасибо. Это, без сомнения, поможет мне навести порядок в мыслях, а то ведь я от наших занятий стал плохо спать и это начинает внушать мне беспокойство.

Л. — Неужели это радио, которое...

Н. — Ну да! Целую ночь я думал о том, что может получиться в результате последовательного соединения конденсатора и катушки. Но, увы, я ничего не придумал.

Л. — Это неудивительно, потому что я ничего не говорил тебе еще об одном важном явлении. Сущность этого явления со-

стоит в том, что хотя индуктивность и емкость являются сопротивлениями для переменного тока, эти сопротивления имеют как бы противоположные свойства. Индуктивность со свойственной ей инерцией задерживает появление тока (рис. 16) при приложении напряжения (в этом случае говорят, что происходит **сдвиг по фазе** и ток отстает от напряжения). Емкость обладает противоположным свойством: ток будет наибольшим в мо-



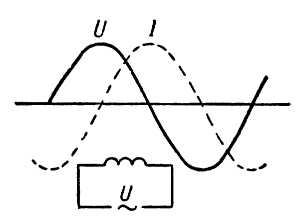


Рис. 16. Сдвиг фаз в цепи с индуктивностью: ток *I* отстает от напряжения *U*.

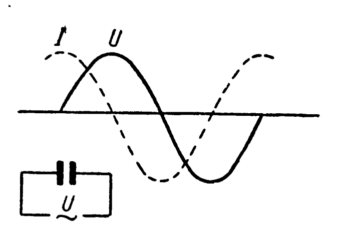
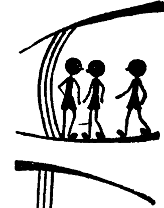


Рис. 17. Сдвиг фаз в цепи с емкостью: ток *I* опережает напряжение *U*.



мент, когда конденсатор разряжен и, следовательно, напряжение равно нулю; по мере того как конденсатор заряжается и напряжение на нем возрастает, ток уменьшается.

Н. — Да, ведь это верно! Когда мембрана выпрямлена, движется наибольшее количество воды (электронов), когда же она выгнута, движение прекращается.

Л. — Переводя на язык электротехники эту аналогию, можно сказать, что в цепи с емкостью ток смещен по фазе и опережает приложенное напряжение (рис. 17).

Н. — Пусть так. Но что происходит, когда переменное напряжение приложено к емкости и индуктивности, соединенным последовательно? Я хотел бы все же уснуть сегодня ночью!

Л. — Ну, что же! В этом случае все зависит от соотношения между величинами индуктивного и емкостного сопротивле-

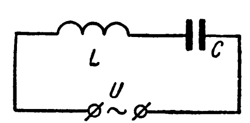
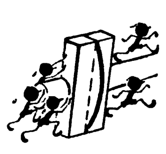
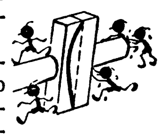


Рис. 18. Последовательное соединение емкости *C* и индуктивности *L*. На резонансной частоте сдвиг фаз и реактивное сопротивление уменьшаются до нуля.

ний. Если индуктивное сопротивление больше емкостного, то оно возьмет верх, и наоборот, так как емкостное сопротивление должно вычитаться из индуктивного. Ведь оно действует диаметрально противоположно.





Н. — Хорошо. Позволь мне тогда задать тебе один из мучающих меня вопросов. Представь, что у меня есть конденсатор и катушка, включенные последовательно (рис. 18). Я прикладываю к ним переменное напряжение со все возрастающей частотой, что произойдет?

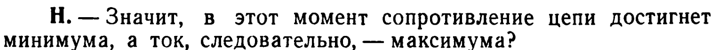
Л. — Так ты же сам это знаешь очень хорошо.

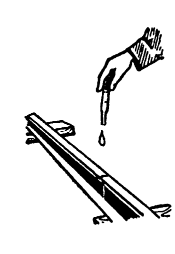
Н. — Да, я знаю, что с возрастанием частоты индуктивное сопротивление увеличится, а емкостное — уменьшится. В этом случае неизбежно наступит момент, когда при некоторой частоте индуктивное и емкостное сопротивления будут одинаковыми.

И так как одно должно вычитаться из другого, то общее реактивное сопротивление нашей цепи будет равно нулю?!

Л. — Ты рассуждаешь совсем неплохо. Однако ты забываешь, что простое активное сопротивление, не зависящее от частоты, останется все-таки в цепи. Но справедливо то, что при некоторой частоте емкостное и индуктивное сопротивления как бы взаимно компенсируются и в цепи в этот момент не будет сдвига фаз между напряжением и током.

КАПЛЯ, КОТОРАЯ РАЗБИВАЕТ РЕЛЬС





Н. — Значит, в этот момент сопротивление цепи достигнет минимума, а ток, следовательно, — максимума?

Л. — Конечно. Это состояние называется р е з о н а н с о м.

Н. — Правда, это похоже на историю с каплями воды, которые разбивают рельс?

Л. — Что ты еще выдумал?

Н. — Я где-то читал, что можно разбить стальной рельс, лежащий на двух опорах, если капать на его середину. Под ритмичным воздействием падающих капель рельс начинает вибрировать, и при определенной частоте падения капель вибрация становится такой сильной, что рельс может лопнуть.

Л. — Действительно, это пример механического резонанса. Точно так же цепь, состоящая из индуктивности и емкости, обладает собственной р е з о н а н с н о й ч а с т о т о й, при которой сопротивление цепи становится очень малым, а колебания тока в ней — наибольшими. Это аналогично свойствам металлического бруска, который, обладая некоторой массой (эквивалент индуктивности) и некоторой упругостью (эквивалент емкости), имеет тоже резонансную частоту, для которой его вибрации становятся наибольшими. Первая капля создает очень слабое колебание в рельсе, вторая, попадая в н у ж н ы й м о м е н т времени, увеличивает амплитуду колебаний и так далее.

Н. — Да, я теперь понимаю, что если капли падали бы немного быстрее или немного медленнее, то они не только не помогли бы колебаниям бруска, а даже помешали бы им. Но при резонансной частоте их действия складываются и брусок ломается, когда колебания становятся слишком сильными.

ВЕЧНОЕ ДВИЖЕНИЕ?..

Л. — Вернемся теперь, если хочешь, к электричеству. Представь, что у тебя есть заряженный конденсатор и что к его выводам ты присоединяешь катушку индуктивности (рис. 19). Что произойдет?

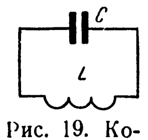


Рис. 19. Колебательный контур.

Н. — Я это знаю очень хорошо. Еще в последней нашей беседе мы изучили разряд конденсатора через сопротивление, а ведь катушка это все равно, что сопротивление. Следовательно, конденсатор разрядится через индуктивность... и все!

Л. — Вот как опасны слишком поспешные умозаключения! Ты забываешь, мой дорогой, что индуктивное сопротивление катушки немного особое, оно аналогично инерции. Электронам также трудно начать двигаться, как и остановиться. Значит, в момент, когда конденсатор разрядится, поток электронов будет еще продолжаться в том же направлении и...

Н. — ...конденсатор снова зарядится, вероятно, изменив полярность. Но когда он снова зарядится?...

Л. — Он снова разрядится и так далее (рис. 20).

Н. — Значит, этому не будет конца? Достаточно зарядить конденсатор один раз, чтобы он, разряжаясь на катушку индуктивности, заряжался и разряжался вечно. Это же вечное движение?!

Л. — Не увлекайся! Наша цепь имеет активное сопротивление, и поэтому ток будет ослабевать, преодолевая это сопротивление. Вследствие этого в течение каждого колебания ток будет все меньше и меньше и, наконец, прекратится совсем.

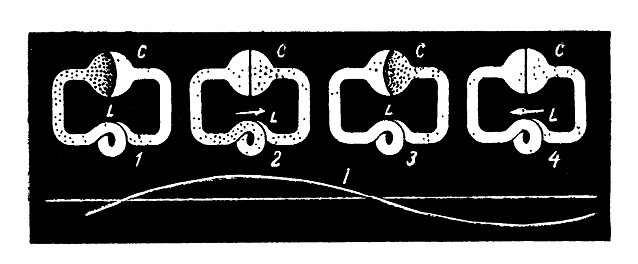


Рис. 20. Движение электронов в колебательном контуре в течение одного периода. В случаях *1* и *3* ток равен нулю, а напряжение на конденсаторе *C* максимально; в случаях же *2* и *4*, наоборот, ток максимален, а напряжение на конденсаторе *C* равно нулю.

Н. — Это похоже на колебания маятника, который, будучи выведен из состояния равновесия, качается до тех пор, пока вся энергия его не иссякнет из-за сопротивления воздуха.

Л. — Это самый классический пример, который приводится во всех учебниках по радиотехнике; может быть, ты легко догадаешься, какова же будет частота колебаний, образующихся в нашей цепи?

Н. — Я думаю, что электроны достаточно ленивы и будут следовать закону затраты наименьших усилий. Поэтому они будут колебаться на резонансной частоте — частоте, при которой кажущееся сопротивление цепи имеет наименьшее значение.



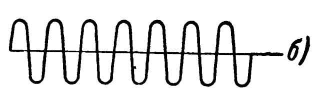
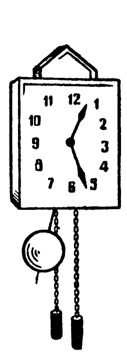


Рис. 21. Виды колебаний.

а — затухающие колебания; *б* — незатухающие колебания.

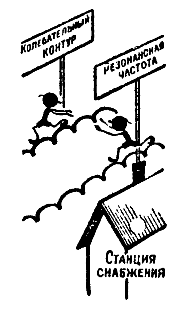


Л. — Все это именно так и происходит. В цепи, состоящей из индуктивности и емкости, называемой **колебательным контуром**, разряд конденсатора превращается в **затухающие электрические колебания** (переменный ток с уменьшающейся амплитудой), частота которых равна **собственной** или **резонансной частоте** колебаний контура (рис. 21).

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР И ВНЕШНЯЯ ЦЕПЬ

Н. — Существует ли способ постоянно поддерживать эти колебания?

Л. — Конечно. Можно получить колебания с постоянной амплитудой — н е з а т у х а ю щ и е к о л е б а н и я, компенсируя потерю энергии за каждое колебание маленькой дозой энергии, добавленной от внешнего источника.



Н. — Я это понял и опять вспомнил часы. Ведь пружина или гири у стенных часов сообщают маятнику легкие толчки в такт с каждым колебанием.

Л. — Верно. Но в нашем случае надо колебательный контур *LC* связать с цепью, по которой проходит переменный ток, частота которого равна резонансной частоте колебательного контура. Связь может быть индуктивной (рис. 22, *а*) или же контур может быть включен непосредственно в цепь источника напряжения (рис. 22, *б*).

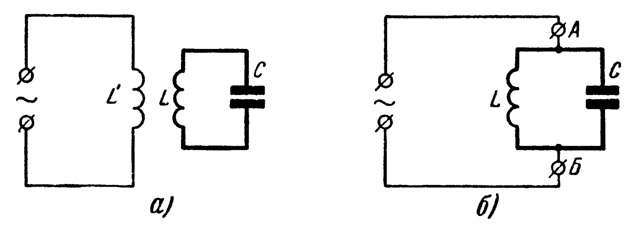
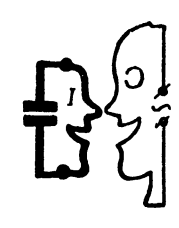


Рис. 22. Схемы питания колебательного контура *LC*.
а — индуктивное; *б* — непосредственное.

Н. — Я думаю, что в обоих случаях только ток резонансной частоты сможет усилить ток в колебательном контуре.

Л. — И ты не ошибаешься. Но вот, что еще важно — я прошу тебя обратить на это особое внимание! Когда колебательный контур включается в цепь (рис. 22, *б*), он представляет собой для тока на резонансной частоте значительное реактивное сопротивление.

Н. — Тогда .. я больше ничего не понимаю! Ты же только что говорил, что для тока резонансной частоты реактивное сопротивление контура имеет наименьшую величину?!



Л. — Какой винегрет у тебя в голове!... Пойми, наконец, что здесь мы имеем дело с двумя совершенно различными цепями. Одна, которую я рисую жирными линиями, это наш колебательный контур. Другая — это внешняя цепь, через которую проходит ток резонансной частоты.

Н. — Но откуда берется этот ток?

Л. — Ты это узнаешь позже — из антенны или цепи анода. В данный момент это несущественно...

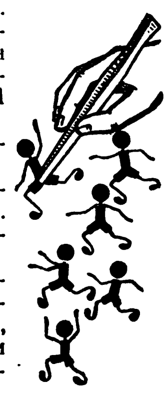
Внутри колебательного контура *LC* реактивное сопротивление действительно очень мало для тока с резонансной (собственной) частотой колебаний.

Рассмотрим теперь цепь, нарисованную тонкими линиями. Она служит для того, чтобы в течение каждого колебания тока передать в контур *LC* небольшое количество энергии, которое

колебательный контур теряет за период каждого колебания. Таким образом, во внешней цепи может протекать только очень слабый ток. Отсюда следует, что колебательный контур по отношению к внешней цепи является большим сопротивлением.

Н. — Это очень сложно; однако мне кажется, что я понял.

Л. — И запомни еще очень важный вывод: так как колебательный контур представляет собой большое сопротивление для резонансного тока внешней цепи, этот ток создаст (согласно закону Ома) очень большое переменное напряжение на зажимах *А* и *Б* колебательного контура (рис. 22, *б*).



Н. — А что произойдет, если вместо тока резонансной частоты во внешней цепи будет протекать ток другой частоты?

Л. — В этом случае в ы н у ж д е н н ы е к о л е б а н и я в колебательном контуре будут намного слабее, чем при резонансе. А сопротивление колебательного контура для нерезонансных частот будет значительно меньше.

Таким образом, если во внешней цепи проходит одновременно много токов различной частоты, то только ток резонансной частоты создаст в колебательном контуре *LC* сильный ток, а на его зажимах — значительное напряжение. Таким способом ты можешь среди многих токов и з б р а т ь один — ток резонансной частоты.

Н. — Я хотел бы спросить, от чего зависит резонансная частота, а также...

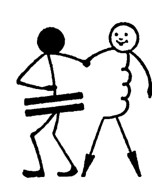
Л. — Я думаю, что на сегодня достаточно. Ты уже достиг насыщения и лучше остальное отложить на следующий раз. Мы сможем тогда покончить со всеми предварительными понятиями из электротехники и перейти непосредственно к радиотехнике.

О

БЕСЕДА ШЕСТАЯ

Предыдущие беседы позволили Незнайкину (и Вам, дорогой читатель) получить необходимые знания из общей электротехники. А теперь, увлекаемый Любознайкиным, Незнайкин принимается за изучение радио. Опираясь на уже полученные знания, они рассматривают в этой беседе вопросы избирательности и настройки колебательных контуров.

НЕЗНАЙКИН И МАТЕМАТИКА

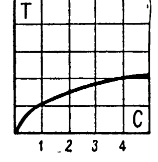


Любознайкин. — Последний раз при расставании ты меня спросил, от каких факторов зависит резонансная частота колебательного контура.

Незнайкин. — Да, но с тех пор я размышлял об этом вопросе и думаю, что нашел истину. Во-первых, колебательный контур состоит только из одного конденсатора и одной катушки. Значит, строго говоря, его собственная частота может зависеть только от емкости этого конденсатора и индуктивности этой катушки.

Л. — Не нужно быть Шерлоком Холмсом, чтобы прийти к этому заключению.

Н. — Конечно. Но я пошел дальше... Что касается емкости, то чем она больше, тем длительнее будут каждый заряд и каждый разряд. Точно так же, чем больше индуктивность, тем сильнее она противодействует любому изменению тока и, следовательно, замедляет колебания. Короче, период собственных колебаний контура увеличивается с увеличением емкости и индуктивности.



Л. — И, следовательно, частота в то же время уменьшается. Поздравляю тебя, Незнайкин, твои рассуждения правильны. Только следует добавить, что частота (и период) не меняется так же быстро, как емкость или индуктивность. Если бы ты хотя немного любил математику, я бы тебе сказал, что период собственных колебаний контура пропорционален корню квадратному из произведения емкости на индуктивность *.

Н. — О! Ты знаешь, математика меня тоже не любит, и это чувство я разделяю. Я признáюсь, даже с риском показаться неблагодарным, что я пока не вижу большой пользы для радио от всего того, что связано с колебательными контурами.

КОЛЬЦА ДЫМА

Л. — Я тебе уже объяснял во время нашей второй беседы, что когда в вертикальном проводе, называемом антенной, циркулирует ток высокой частоты...

---

* Зная индуктивность L и емкость C, легко определить период T по формуле Томсона:



$$T = 2\pi \sqrt{LC},$$

где $\pi = 3,14...$ Однако Незнайкин не любит формул.

Н. — ...электромагнитные волны отделяются от него и распространяются, как кольца дыма, которые расширяются с сумасшедшей скоростью, равной 300 000 *км/сек.*

Л. — Отлично, память у тебя еще не ослабела... Теперь, как ты думаешь, что произойдет, если на своем пути эти кольца встретят другой вертикальный проводник?



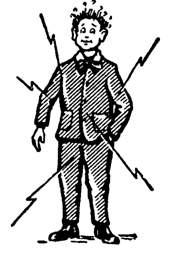
Н. — Я думаю, что в этом случае можно, применив принцип обратимости явлений, утверждать, что электромагнитные кольца наведут во встречном проводнике токи высокой частоты.

Л. — Правильно! И чтобы назвать вещи своими именами, мы скажем, что электромагнитные волны возбуждают в приемной антенне ток, аналогичный тому, который циркулирует в передающей антенне. Он будет, конечно, значительно более слабым, так как, удаляясь от передатчика, волны ослабляются.

Н. — Как кольца дыма, которые распространяются и постепенно растворяются в воздухе.

НЕЗНАЙКИН БОИТСЯ УМЕРЕТЬ ОТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО УДАРА

Л. — Теперь подумай об одной серьезной вещи. Во всем мире каждую минуту действуют десятки различных радиопередатчиков.



Н. — Но ты не будешь утверждать, что все они возбуждают токи в любом вертикальном проводе?!

Л. — Именно так! Будь уверен, что и через тебя, хотя ты являешься далеко не совершенным проводником, проходят в этот момент десятки токов высокой частоты.

Н. — Как это страшно! Лучше бы ты мне об этом не говорил! Но почему же я ничего не чувствую?

Л. — Да просто потому, что эти токи очень слабы. Кроме того, в противоположность постоянному току и переменным токам низкой частоты, которые распространяются внутри проводника, токи высокой частоты распространяются только по поверхности проводника. Это называется поверхностным эффектом.

Н. — Это меня немного успокаивает..., но другое меня беспокоит. Так как приемная антенна принимает токи от всех действующих радиостанций, мы должны были бы слышать ужасную смесь классической и легкой музыки, конференций, последних новостей, кулинарных рецептов и т. п. Я не представляю себе, что можно было бы понять при одновременном приеме Берлина, Москвы и Ватикана...



ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ

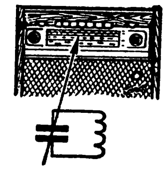
Л. — Ты же хорошо знаешь, что это не так. Радиоприемники являются избирательными (селективными) приборами, т. е. обладают способностью выбирать среди множества волн именно ту, которая создается в антенне нужного нам передатчика.



Н. — Каким образом?

Л. — С помощью одного или нескольких колебательных контуров. Например, на рис. 23 антенна связана при помощи катушки с колебательным контуром. Это как раз тот случай, который мы рассматривали в конце нашей последней беседы. Из всех токов, которые циркулируют в антенне, только тот, который будет

иметь частоту, равную резонансной частоте колебательного контура *LC*, наведет на зажимах *АБ* некоторое переменное напряжение.



Н. — Значит, различные передающие станции, если я хорошо понял, должны отличаться друг от друга различными частотами вырабатываемых ими токов.

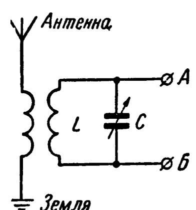
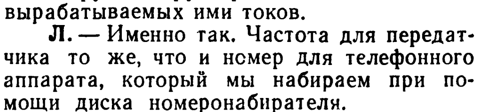


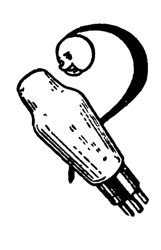
Рис. 23. Индуктивная связь колебательного контура с антенной.

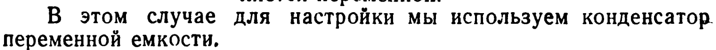


Л. — Именно так. Частота для передатчика то же, что и номер для телефонного аппарата, который мы набираем при помощи диска номеронабирателя.

Н. — Но ведь колебательный контур может иметь только одну частоту, как же мы можем при желании слышать различные передачи?

Л. — Настраиваясь на различные частоты. Чтобы изменить резонансную частоту, достаточно изменить величину индуктивности или емкости контура. Разве ты не видишь, что на рис. 23 конденсатор *C* перечеркнут стрелкой? На схемах стрелка показывает обычно, что данная величина является переменной.





В этом случае для настройки мы используем конденсатор переменной емкости.

Н. — Следовательно, в антенне имеется много токов различной частоты, но, изменяя емкость конденсатора, мы настраиваем колебательный контур на нужную нам частоту и тем самым как бы «ловим» нужную станцию. Между точками *А* и *Б* появляется переменное напряжение, но ... что с ним происходит дальше?

Л. — Это напряжение обычно очень слабое. Его надо усилить, прежде чем использовать для дальнейших преобразований. Именно для усиления и используют радиолампы, тайны которых мы исследуем в следующий раз,

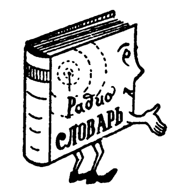
O

БЕСЕДА СЕДЬМАЯ

Чтобы понять радио, важно прежде всего узнать устройство многоэлектродной лампы, которая в радиотехнических устройствах является «мастером на все руки». Верный своему обещанию, Любознайкин приступает к изложению самого основного — рассказывает о свойствах наиболее простых ламп: диода и триода. Так Незнайкин узнает о значении катода, анода и сетки.

НЕЗНАЙКИН ЗНАКОМИТСЯ С ЛАМПАМИ

Незнайкин. — Так как прошлый раз ты обещал мне рассказать о радиолампах, я уже немного изучил материалы по этому вопросу. Из словаря я узнал, что эти лампы называют электронными лампами.



Любознайкин. — Отлично, Незнайкин! Теперь ты достаточно осведомлен!... Чтобы дополнить сведения, полученные из словаря, мне остается добавить, что электроны играют важную роль в радиолампах.

Н. — Не издевайся надо мной, Любознайкин. Что делают электроны в лампах?

Л. — Электроны испускаются (эмитируются) катодом и, пройдя в вакууме через одну или несколько сеток, притягиваются анодом.

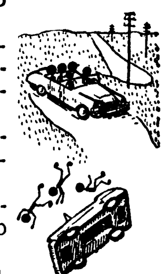
Н. — Час от часу не легче! Катод, анод, сетка... это все равно, что объяснить мне на санскритском языке интегральное исчисление.

Л. — Начнем с азов. Ты знаешь, что такое теплота?

Н. — Мой учебник физики скромно намекает, что теплота — это не что иное, как быстрое и беспорядочное движение молекул, т. е. элементарных частиц тела.

Л. — А что происходит с электронами в молекулах нагретого тела?

Н. — Я думаю, что эти электроны могут уподобиться пассажирам, сидящим в автомобиле, который катится с огромной скоростью, делая сумасшедшие зигзаги. Электроны-путешественники испытывают тряску и ужасно от этого страдают.



Л. — Наука не располагает сведениями о моральном состоянии электронов..., но ты прав, говоря, что они испытывают сильную тряску. Представь, что температура тела очень высока...

Н. — В этом случае движения молекул-автомобилей становятся настолько стремительными и беспорядочными, что немало пассажиров-электронов будет выброшено за борт.

Л. — Это называется электронной эмиссией тела. Если раскалить металлическую проволоку, то из нее хлынет поток электронов. Имеются окиси металлов, у которых электронная эмиссия начинается даже при относительно низкой температуре нагрева.

Н. — Это происходит, видимо, потому, что в этих окисях электроны-пассажиры не держатся крепко за борта своих автомобилей.

Но скажи, каким способом ты предполагаешь нагревать металл, чтобы получить электронную эмиссию?

Л. — Для этого могут быть использованы все средства нагрева: газ, керосин, уголь, электричество.

Н. — Постой, постой! Я не знал, что радиолампы нагревают на керосинке.

Л. — В действительности катод (так называют в лампе электрод, служащий источником электронной эмиссии) всегда нагревают электрическим током. Но этот ток накала играет вспомогательную, второстепенную роль и может быть заменен другим источником тепла.

В современных лампах нить накала похожа на нить в осветительной лампе и накаливается проходящим по ней током (постоянным или переменным — это безразлично). Нить накала скрыта в фарфоровом цилиндре, через который тепло передается

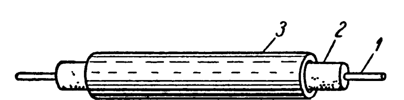
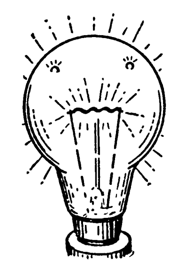


Рис. 24. Составные части подогревного катода.

1 — нить накала; *2* — фарфоровый цилиндр; *3* — никелевая трубка, покрытая активным слоем.

никелевой трубке, плотно прилегающей к фарфоровому цилиндру. Поверхность никелевой трубки покрыта слоем, состоящим из различных окисей, который собственно вместе с никелевой трубкой и является катодом, эмитирующим электроны (рис. 24).



Н. — Словом, это электрическая плитка, на которой стоит чайник, из которого вырывается электронный пар.

Л. — Сравнение мне нравится. Теперь заметь, что электроны, вылетающие из катода, не могут уйти очень далеко, если тотчас же встретят на своем пути молекулы воздуха. Чтобы дать им возможность свободно перемещаться, катод помещают в стеклянную колбу, из которой удален воздух.

Н. — Но куда по-твоему должны идти электроны?

А ВОТ И ДИОД...

Л. — Сейчас мы устроим в лампе ловушку для электронов. Это цилиндр, расположенный на некотором расстоянии вокруг катода (рис. 25). Зарядим его положительно относительно катода с помощью батареи.



Н. — Мне кажется, я знаю, что при этом произойдет. Электроны, будучи отрицательными частицами электричества, начнут притягиваться цилиндром, заряженным положительно, и в лампе установится поток электронов, идущий от катода к этому цилиндру.

Л. — Цилиндр, о котором идет речь, называется **анодом**, а поток электронов, идущий от катода к аноду, — **анодным током**.

Анодный ток проходит также через батарею и возвращается на катод. Определить присутствие анодного тока можно при помощи миллиамперметра, включенного в анодную цепь (рис. 26).

Н. — Подумать только, электроны перемещаются в пустоте!... Но скажи, если по рассеянности я включу батарею наоборот, т. е. так, что катод будет положительным, а анод — отрицательным, пойдут ли электроны тогда от анода к катоду?

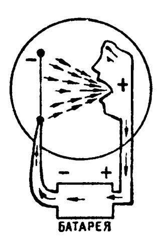
Л. — Нет, конечно. Холодный анод не испускает электронов.

Н. — Значит, наша лампа является для электронов улицей с односторонним движением.

Л. — Да. В радиотехнике рассмотренная нами лампа называется двухэлектродной электронной лампой или диодом.

Н. — Я думаю, что ток в диоде очень слабый.

Л. — И ты не ошибаешься. По крайней мере в диодах, используемых в радиоприемниках. Ток в них редко бывает больше нескольких десятков миллиампер.



Н. — А от чего зависит этот ток?

Н. — Прежде всего от напряжения, приложенного между анодом и катодом: чем больше это напряжение, тем больше ток.

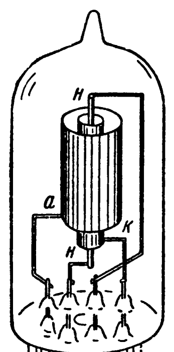


Рис. 25. Диод.
н — нить накала; *к* — катод; *а* — анод.

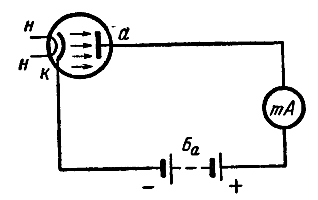
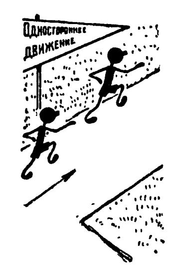


Рис. 26. Миллиамперметр *mA* позволяет измерять ток, идущий от катода *к* к аноду *а*.



Н. — Это мне кажется нормальным: чем сильнее анод зовет к себе электроны, тем больше их приходит на его зов.

Л. — Однако это правило справедливо только до некоторого предела, выше которого, несмотря на увеличение напряжения на аноде, ток больше не возрастает.

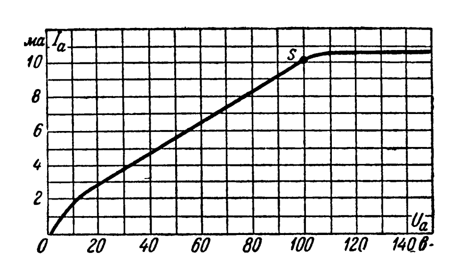
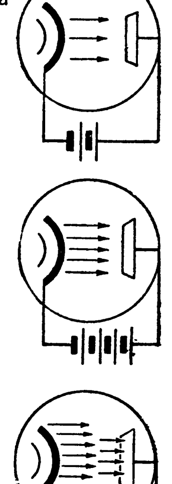


Рис. 27. Кривая, показывающая изменение анодного тока в зависимости от анодного напряжения. В точке *s* наступает насыщение.



Н. — Почему же?

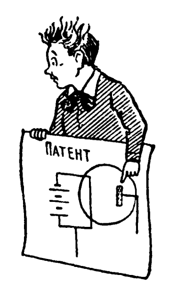
Л. — Потому что при определенном напряжении все электроны, испускаемые катодом, достигнут анода, и тогда говорят, что ток достигает насыщения, иными словами, устанавливается максимальный ток, который может создать катод (рис. 27),

НЕЗНАЙКИН ОТКРЫВАЕТ АМЕРИКУ

Н. — Очевидно, самый лучший катод в мире не может дать больше того, чем он располагает...

Однако относительно устройства катодов мне пришла грандиозная идея. Мне кажется, что за нее мне могли бы выдать патент.

Л. — Каково же это сенсационное открытие?

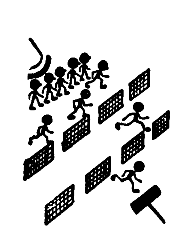


Н. — Я думаю, что можно значительно упростить конструкцию катода, объединив в один элемент нить накала и эмитирующую поверхность. Для этого достаточно пропустить ток накала через нить, сделанную из металла, обладающего хорошими эмитирующими свойствами. При этих условиях такая нить, нагреваясь, эмитировала бы сама электроны и представляла собой очень простой катод.

Л. — Поздравляю тебя, Незнайкин. Ты только что изобрел катод прямого накала, действительно более простой, чем катод с косвенным накалом, устройство которого я тебе объяснил. Однако твое изобретение несколько опоздало, так как лампы с прямым накалом были известны задолго до ламп с косвенным накалом. Впрочем, катод с прямым накалом до настоящего времени используют в радиоприемниках, питаемых от батарей, а также в некоторых лампах сетевых радиоприемников.

Н. — Решительно, я родился слишком поздно и мне ничего не осталось изобрести.

В ЛАБИРИНТЕ СЕТОК



Л. — Наоборот. Ты можешь изобрести другие лампы, более сложные, чем диод. Но и тут уже многое было сделано: увеличивая число сеток, их форму и расположение, техники создали очень интересные лампы.

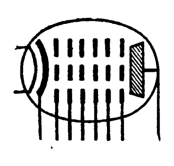
Н. — А для чего служат эти знаменитые сетки?

Л. — Сетки — настоящие проволочные решетки с ячейками той или иной величины или цилиндрические спирали — помещаются на пути следования электронов между катодом и анодом.

С точки зрения геометрии сетки совсем не создают препятствия движению электронов. Однако, находясь значительно ближе к катоду, сетки оказывают на поток электронов значительно большее влияние, чем анод.

Н. — Это мне не совсем ясно. О каком это влиянии ты говоришь?

Л. — О влиянии напряжения на сетке на анодный ток.

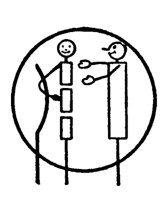


Рассмотрим наиболее простую после диода лампу с одной сеткой, т. е. лампу с тремя электродами — катодом, сеткой и анодом. Она называется триодом и является родоначальницей всех современных многосеточных ламп — восьмиэлектродных (октодов) и даже двенадцатиэлектродных (додекаодов).

Н. — Я предпочитаю, однако, чтобы ты рассказал сначала о триоде. Электроны, может быть, достаточно умны, чтобы найти дорогу среди восьми или двенадцати электродов, но я нахожу, что это чертовски сложно.

Л. — Позднее ты увидишь, что в сущности это очень просто... Чтобы наглядно показать тебе влияние сетки на анодный ток в триоде, я помещу между катодом и сеткой маленькую батарею $Б_с$, соединенную с катодом средним отводом (рис. 28). Бла-

годаря этому я могу приложить к сетке напряжение или отрицательное (соединяя сетку с левой частью батареи), или положительное (соединяя ее с правой частью батареи). Таким образом, можно изменять напряжение сетки по отношению к катоду от —2 до +2 *в*. Точно так же анодное напряжение может изменяться путем переключения отводов на анодной батарее $Б_а$, отрицательный вывод которой соединен с катодом.



Н. — Я вижу, что для анода ты взял батарею 120 *в*, тогда как для сетки только 4 *в*. Почему?

Л. — Да потому что, как ты это сейчас увидишь, небольшие изменения напряжения на сетке производят на анодный ток то же

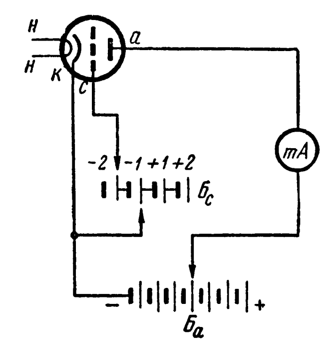
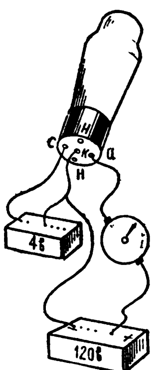


Рис. 28. Схема, позволяющая сравнить влияние напряжений сетки и анода на анодный ток. Изменение напряжения батарей сетки и анода ($Б_с$ и $Б_а$) производится путем увеличения числа работающих элементов.

действие, что и значительные изменения напряжения на аноде. Смотри сам. Включаем на анод +80 *в* и на сетку —2 *в*. Какой ток показывает миллиамперметр *mA*?



Н. — Один миллиампер.

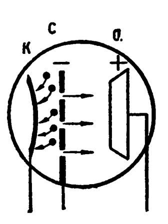
Л. — Хорошо. Теперь я устанавливаю напряжение на сетке —1 *в*, т. е. увеличиваю напряжение на 1 *в*. Анодный ток возрос до 4 *ма*. Значит, он увеличился на 3 *ма* при изменении напряжения на сетке на 1 *в*.

Н. — Я думаю, что он увеличился потому, что сетка, став менее отрицательной, отталкивает менее энергично электроны, которые вырываются с катода.

КРУТИЗНА И КОЭФФИЦИЕНТ УСИЛЕНИЯ

Л. — Конечно. Попутно добавлю, что величина изменения анодного тока при увеличении напряжения на сетке на 1 *в* называется **крутизной** лампы и измеряется в миллиамперах на вольт (*ма/в*). Крутизна нашего триода 3 *ма/в*, потому что, увеличивая на 1 *в* напряжение на сетке, мы наблюдаем увеличение анодного тока на 3 *ма*.

Н. — Но из того, что ты говорил раньше, мы можем также увеличить анодный ток, увеличивая напряжение, приложенное к аноду.

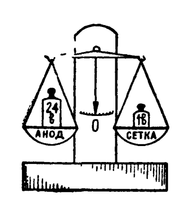


Л. — Сейчас расскажу. Подадим снова на сетку напряжение —2 *в* и попытаемся увеличить анодный ток на ту же величину 3 *ма*, но уже путем изменения напряжения на аноде. Ты видишь, что для этого я вынужден перейти с +80 *в* на +104 *в*, т. е. увеличить напряжение на аноде на 24 *в*. Только при этом условии можно получить тот же эффект, который был произведен изменением напряжения на сетке на 1 *в*.

Н. — Вот теперь я понял то, что ты рассказывал о влиянии сетки. Действительно, сетка оказывает на анодный ток влияние,

значительно большее, чем анод. Словом, когда сетка нежно шепчет свой призыв к электронам, а анод зовет их во всю силу легких, эффект получается один и тот же.

Л. — Это так, Незнайкин. Запомни также, что число, которое показывает, во сколько раз изменение анодного напряжения больше изменения напряжения на сетке, которое производит то же действие на анодный ток, называется *коэффициентом усиления* лампы. Каков же, например, коэффициент усиления нашего триода?

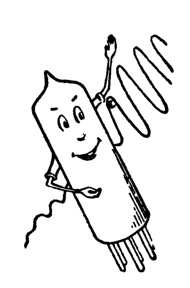


Н. — Сейчас увидим. Мы должны были изменить напряжение на аноде на 24 *в*, чтобы изменить анодный ток на 3 *ма*. С другой стороны, то же изменение было достигнуто при изменении напряжения на сетке только на 1 *в*. Следовательно, изменение анодного напряжения в 24 раза больше, чем напряжение на сетке, и коэффициент усиления равен 24.

Л. — Отлично. Я вижу, что ты понял. Я хотел бы, чтобы ты особенно запомнил, что небольшие изменения напряжения на сетке вызывают большие изменения анодного тока.

Н. — Я начинаю подозревать, что именно поэтому лампы и могут усиливать.

Л. — И ты не ошибаешься!



БЕСЕДА ВОСЬМАЯ

Что такое вход и выход лампы? Что называют характеристикой?.. Как ее определяют и какова ее форма? Что такое рабочая точка и смещение? Вот те вопросы, которые Любознайкин ставит перед Незнайкиным, рассматривая условия, когда лампа работает как усилитель без искажения формы напряжения, приложенного между сеткой и катодом.

НЕЗНАЙКИН ОЧЕНЬ ПЛОХО СЕБЯ ВЕДЕТ

Любознайкин. — Твоя мать, Незнайкин, только что горько жаловалась на твое поведение. Правда ли, что ты загромоздил стол в столовой батареями, лампами и катушками, протянул проволоку к радиатору отопления и твоя сестра еще не оправилась от падения, запутавшись ногой в проводах?

Незнайкин. — Все это так, но, уверяю тебя, меня это не волнует. Меня удручает, почему не работает мой приемник.

Л. — Ты построил радиоприемник?! Но кто же дал тебе его схему?!

Н. — Мне показалось, что я уже достаточно знаю радиотехнику для того, чтобы самому составить схему приемника. Вот она, смотри (рис. 29): между антенной и заземлением включен

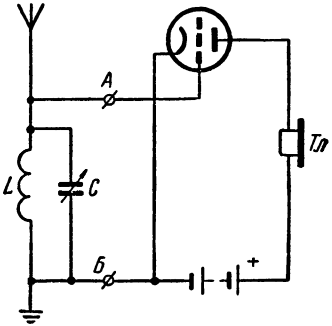


Рис. 29. Схема радиоприемника, предложенная Незнайкиным. Лампа работает как усилитель, но в телефонных наушниках *T* ничего не слышно.

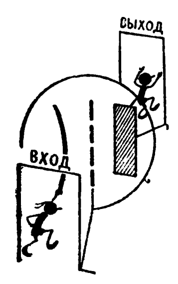
настроенный контур *LC*, на зажимах *A* и *Б* которого возникает, как ты объяснял, переменное напряжение высокой частоты, образовавшееся под действием энергии, полученной из антенны. Его я и подаю в цепь между катодом и сеткой лампы. Ведь мы же как раз в предыдущей беседе установили, что слабые изменения напряжения, приложенные к сетке, производят сильные изменения анодного тока. И, следовательно, если в анодную цепь включить телефонные наушники *T*, то мы должны услышать радиопередачу — речь или музыку.



Л. — Ты ее слышал?

Н. — Увы, нет! Ни одного звука: вероятно, лампа испорчена.

Л. — Самое удивительное то, что ты рассуждаешь совершенно правильно..., но до определенного момента. Действительно, чтобы использовать усилительные свойства лампы, необходимо приложить усиливаемое напряжение между сеткой и катодом,



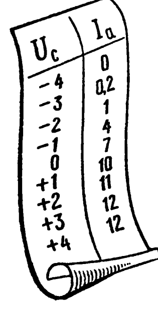
которые образуют «вход» лампы. «Выход» лампы образуется между анодом и катодом, так как в анодной цепи получаются усиленные колебания в виде анодного изменяющегося тока. С этой точки зрения твоя схема отличная. Но по многим причинам телефон не воспроизведет ни одного звука. Одна из них та, что мембрана телефона не может вибрировать с частотой радиоколебаний.

В ЦАРСТВЕ КРИВЫХ

Н. — Что же теперь делать?

Л. — Отложи в сторону свою схему и займемся лампой.

В прошлый раз мы рассмотрели в общих чертах зависимость, существующую между анодным током и напряжением на сетке. Чтобы ее изучить более основательно, возьмем снова прибор, который мы уже использовали в одной из наших последних бесед (рис. 30), и отметим тщательно, какова величина анодного тока I_a для каждого значения напряжения на сетке U_c.



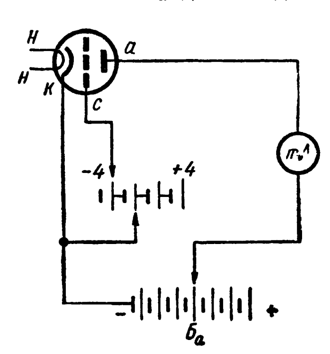


Рис. 30. Схема, позволяющая снимать характеристики ламп.

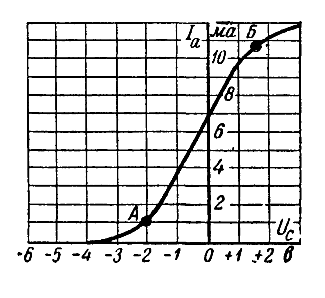


Рис. 31. Сеточная характеристика трехэлектродной лампы.

Н. — Я вижу, что для напряжения на сетке —4 *в* ток равен нулю, сетка слишком отрицательна и отталкивает все электроны, подходящие к ней. При напряжении —3 *в* анодный ток повышается до 0,2 *ма*, при —2 *в* — до 1 *ма*, при —1 *в* — до 4 *ма*, при 0 *в* — до 7 *ма*, при +1 *в* — до 10 *ма*, при +2 *в* — до 11 *ма*, при +3 *в* и выше — до 12 *ма*, и эта величина больше не меняется.



Л. — В соответствии с этими величинами вычертим характеристику лампы (рис. 31). Эта кривая представляет собой в своем роде паспорт лампы. Она характеризует свойства лампы и позволяет лучше ее использовать.

На характеристике можно заметить три различных участка: первый участок слева до точки *А* называется нижним изгибом характеристики; второй участок между точками *А* и *Б*, в котором ток возрастает пропорционально напряжению на сетке, — это прямолинейная часть характеристики; третий участок от точки *Б* представляет собой верхний изгиб характеристики, оканчивающийся горизонтальным участком, который указывает на то, что наступило насыщение, т. е. все испускаемые катодом электроны достигли анода.

Н. — Будем ли мы иметь такую же кривую, если вместо 80 *в* приложим к аноду напряжения других величин?

Л. — Конечно, нет. Если, например, анодное напряжение будет выше, то анод будет притягивать электроны сильнее и, следовательно, для одного и того же напряжения на сетке анодный ток будет выше. Впрочем, можно начертить характеристики



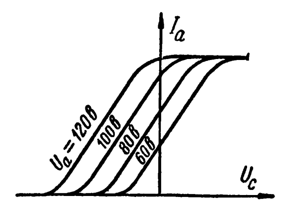
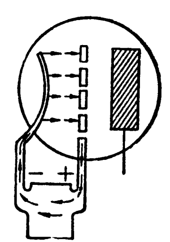


Рис. 32. Семейство сеточных характеристик, каждая из которых соответствует анодному напряжению U_a определенной величины.

для каждого анодного напряжения, и таким образом мы получим целое «семейство» характеристик (рис. 32).

Н. — Я заметил, что характеристики смещаются влево по мере того, как анодное напряжение увеличивается.

Л. — Да. Очень часто бывает необходимым сместить характеристику и особенно ее прямолинейную часть влево относительно точки нулевого напряжения на сетке.



ЗАПРЕТНАЯ ОБЛАСТЬ

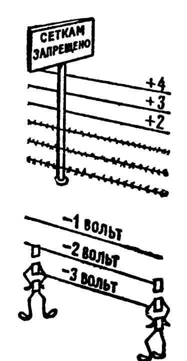
Н. — Признаться, не вижу в этом большой необходимости.

Л. — Это ты поймешь позже. Теперь же запомни, что предпочитают поддерживать напряжение на сетке в области отрицательных значений (т. е. влево от нулевой точки) для того, чтобы избежать появления сеточного тока, который образуется, как только сетка становится положительной.

Н. — Сеточный ток?.. Что это такое?

Л. — Это легко понять. Когда сетка становится положительной по отношению к катоду, она действует как анод и притягивает к себе электроны. Появляется, таким образом, ток, идущий от катода к сетке, ток очень слабый, но который в некоторых случаях может принести много неприятностей.

Н. — Маленькие причины — большие последствия, как говорил мой дядюшка, который, поскользнувшись на кожуре банана, сломал себе ногу. Но как можно поддерживать напряжения на сетке в области отрицательных значений, как ты изящно выразился?



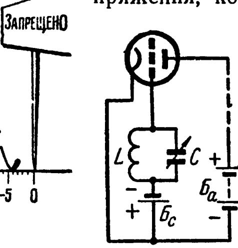
Л. — Прежде всего нужно, чтобы ты хорошо понял разницу, существующую между постоянным напряжением на сетке, или, как говорят, ее **рабочей точкой**, и мгновенными значениями переменного напряжения. Постоянное напряжение — это напряжение, которое подается на сетку в отсутствие сигналов или, иначе, напряжений переменного тока.

Н. — Но я думаю, что обычно сетка должна иметь тот же потенциал, что и катод, т. е. нулевой потенциал.

Л. — Ошибаешься! В большинстве усилительных схем сетка должна быть **отрицательной** относительно катода, т. е. на нее подают некоторое отрицательное напряжение, например с помощью маленькой сеточной батареи $Б_с$, которая не расходует тока (рис. 33).

Н. — Вот теперь я понял. Это для того, чтобы сетка оставалась в области отрицательных напряжений.

Л. — Конечно. Но кроме этого постоянно действующего напряжения, которое называется **н а п р я ж е н и е м с м е щ е н и я**, к сетке усилительной лампы приложено напряжение переменного тока. Представь себе, например, что сверх напряжения смещения —9 *в* на сетку подано переменное напряжение 5 *в*. Каковы будут тогда крайние мгновенные напряжения на сетке?



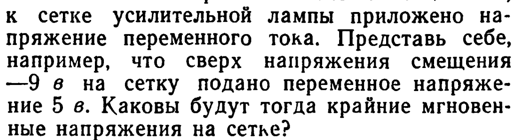
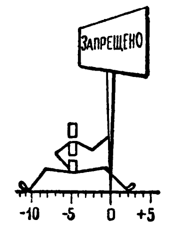


Рис. 33. Сетке сообщено небольшое отрицательное напряжение батареей $Б_с$.

Н. — В течение отрицательного полупериода переменного тока сетка достигнет —9 + + (—5) = —14 *в*, а в течение положительного полупериода переменного тока —9 + (+5) = = —4 *в*.

Л. — Браво! Я вижу, что ты кое-что помнишь из алгебры. Теперь представь себе, что по отношению к катоду сетка постоянно имеет напряжение —3 *в*. Подавая теперь то же напряжение переменного тока,...

Н. — ...мы будем иметь, с одной стороны, —3 + (—5) = —8 *в*, а с другой, —3 + (+5) = = +2 *в*. О! Я вижу, что в этом случае мы оказались в запрещенной области положительных напряжений на сетке, когда появились сеточный ток и связанные с этим досадные последствия. Напряжение смещения, достаточное в первом случае, теперь мало́.



УСЛОВИЯ ХОРОШЕЙ РАБОТЫ

Л. — Твои выводы продиктованы здравым смыслом...

Итак, мы установили, что отрицательное напряжение, приложенное к сетке, должно быть по крайней мере равным амплитуде напряжения переменного тока. Но, кроме этого, имеется

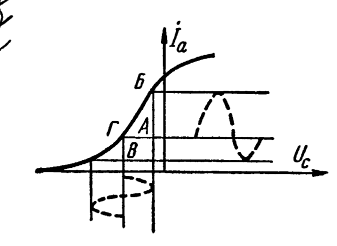
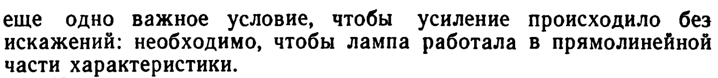
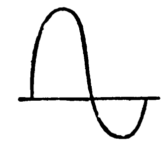


Рис. 34. Лампа работает на нижнем изгибе, вследствие чего искажается форма тока.



еще одно важное условие, чтобы усиление происходило без искажений: необходимо, чтобы лампа работала в прямолинейной части характеристики.

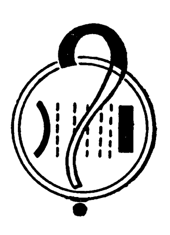


Н. — Я не знаю, в чем здесь дело.

Л. — Чтобы избежать искажений, изменения анодного тока должны быть строго пропорциональны изменениям напряжения на сетке. Заставляя лампу работать на прямолинейной части характеристики, мы тем самым и создаем условия сохранения пропорциональности между изменениями сеточного напряжения и изменениями анодного тока.

Но представь себе, что мгновенные значения напряжения на сетке приходятся на нижнюю криволинейную часть характеристики (рис. 34). В этом случае положительный полупериод обус-

ловит изменение анодного тока в области *АБ*, большее, чем в области *ВГ*, вызываемое отрицательным полупериодом сеточного напряжения.

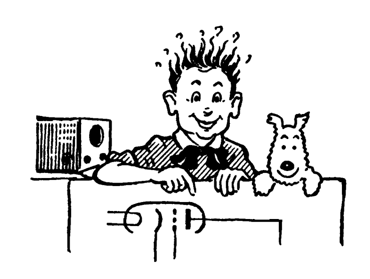


Н. — Да, кривая анодного тока получилась не такой симметричной, как кривая сеточного напряжения.

Л. — Отлично, теперь ты уже знаешь, какие условия необходимы, чтобы лампа работала в качестве усилителя.

Н. — Да, но я еще не знаю, как сделать радиоприемник, который бы, наконец, работал. Кроме того, я не знаю, для чего служат многочисленные сетки в современных лампах, о которых ты говорил.

Л. — У нас еще много тем для наших бесед.



БЕСЕДА ДЕВЯТАЯ

В этой беседе, целиком посвященной радиотелефонной передаче, Любознайкин излагает принцип работы лампового генератора и процесс модуляции, служащий для передачи низкой частоты на высокой частоте.

СТРАННЫЕ ПУТЕШЕСТВИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ



Незнайкин. — Извини, что я возвращаюсь к своим горестям, но ты обещал объяснить, почему собранная мною схема не могла работать.

Любознайкин. — Чтобы это понять, надо знать, какова форма тока, который электромагнитные волны наводят в твоей антенне. А для этого мне необходимо объяснить действие радиотелефонного передатчика.

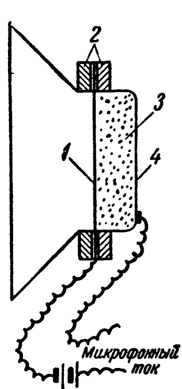


Рис. 35. Микрофон.

1 — мембрана; *2* — изолятор; *3* — угольный порошок; *4* — чашечка.

Н. — Я знаю, что существует студия, а в ней микрофон.

Л.— Отлично. Я вижу, что ты «основательно» изучил вопрос. Однако знаешь ли ты, что такое микрофон?

Н. — Конечно. Один из них имеется в нашем телефонном аппарате. На днях я вскрыл микрофон и нашел там маленькие крупинки угля. Именно с этого дня наш телефон стал так плохо работать...

Л. — Итак, ты знаешь, что микрофон служит для улавливания звуков и для ...

Н. — ...преобразования их в электрический ток.

Л. — Это еще не все. Микрофон состоит из тонкой металлической мембраны и металлической чашечки, наполненной угольным порошком (рис. 35). Мембрана изолирована от металлической коробочки и соединяется с нею только через угольный порошок.

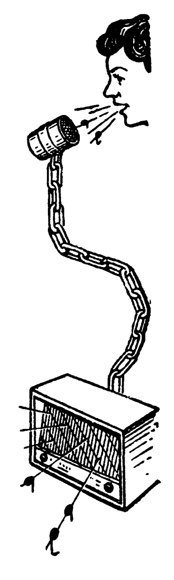
Ток от батареи идет от мембраны к металлической чашечке через угольный порошок. Величина этого тока зависит, очевидно, от сопротивления угольного порошка. Сопротивление порошка может изменяться в зависимости от давления, производимого на него мембраной.

Н. — Я понимаю: при сжатии порошка мембраной крупинки имеют бо́льшую поверхность соприкосновения и ток проходит легче. Но что может изменить давление мембраны на порошок?

Л. — Звуковые волны, которые заставляют ее вибрировать. Не учил ли ты, мой дорогой, в курсе физики, что звук — это не что иное, как колебания молекул воздуха, распространяющиеся

в направлении звуковой волны. Звуковые колебания имеют частоту от 16 колебаний в секунду (герц) для самого низкого слышимого **тона** до 16 000 для самого высокого. Впрочем, некоторые ученые полагают, что особо чувствительные уши ощущают звуки с частотой колебаний 40 000 *гц*. Собаки, например, воспринимают эти звуки.

Н. — Значит, если я хорошо понял, звуковые волны ударяются о мембрану микрофона и, заставляя ее колебаться, сжимают больше или меньше угольный порошок и изменяют проходящий через него ток.



Л. — Это правильно. Таким путем микрофонный ток точно повторяет все колебания звука. Впрочем, в радио мы имеем дело со звуком только на концах передающей цепи: вначале — перед микрофоном, а в конце — после громкоговорителя. Между ними звук будет представлен микрофонным током, который называют током низкой частоты, так как его частота много меньше частоты токов, служащих для образования электромагнитных волн и называемых токами высокой частоты.

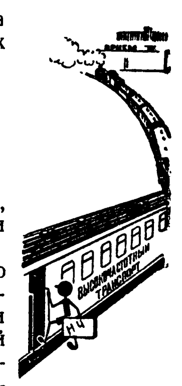
Н. — Какое несчастье! Еще одна мысль, которая потеряла смысл прежде, чем я ее изложил!... Я только что собирался предложить послать микрофонный ток прямо в антенну передатчика так, чтобы он создал радиоволны,... и я вижу, что для этого следует использовать токи высокой частоты.

Л. — Видишь ли, Незнайка, микрофонный ток можно уподобить пассажиру, который использует поезд токов высокой частоты, чтобы добраться до отдаленного места назначения. Он садится на станции отправления (передатчик) и сходит на станции назначения (приемник). Таким образом, высокая частота играет вспомогательную роль средства передвижения для тока низкой частоты.

Н. — То, что ты объясняешь, очень просто, но в действительности это должно быть дьявольски сложно, потому что я совсем не представляю себе, как низкая частота «садится» на высокую, переносится ею, а затем оставляет ее.

Л. — Однако все это очень просто и ты это поймешь, когда я объясню тебе действие генератора, который в некоторых случаях применения называется гетеродином.

КАК ПОЛУЧИТЬ ВЫСОКУЮ ЧАСТОТУ



Н. — Я читал в объявлениях о продаже «супергетеродинов», но никогда не слыхал просто о гетеродинах. Не рекламное ли это преувеличение?

Л. — Нет, успокойся. Супергетеродин — приемная схема, о которой я тебе позже расскажу. А просто гетеродин — это устройство, служащее для создания переменных токов высокой или низкой частоты. Генератор, производящий мощные токи высокой частоты, которые направляются в антенну, называется радиопередатчиком. Если, кроме того, микрофонный ток воздействует на ток высокой частоты или, как говорят, он его модулирует, мы имеем дело с радиотелефонным передатчиком.

Н. — Но я бы очень хотел узнать, как устроен генератор. Не похож ли он на генераторы переменного тока, которые установлены на центральных электростанциях?

Л. — Нет, дружище. Так же, как искусный повар знает тысячи способов приготовления яиц, так и радиотехники умеют приспособить лампу для различных применений. Очень простая

схема генератора изображена на рис. 36,*а*. Что ты на ней видишь?

Н. — Я вижу колебательный контур *LC*, включенный между сеткой и катодом лампы. С правой стороны изображена катушка L_1, включенная в анодную цепь лампы. Наконец, имеется батарея $Б_с$, создающая отрицательное напряжение на сетке лампы относительно ее катода.

Л. — Заметь также, что катушки L и L_1 располагаются так, что между ними существует индуктивная связь, а обмотки их идут в одном направлении, т. е. ток от катода к сетке в катушке L идет в том же направлении, что и в катушке L_1 (от

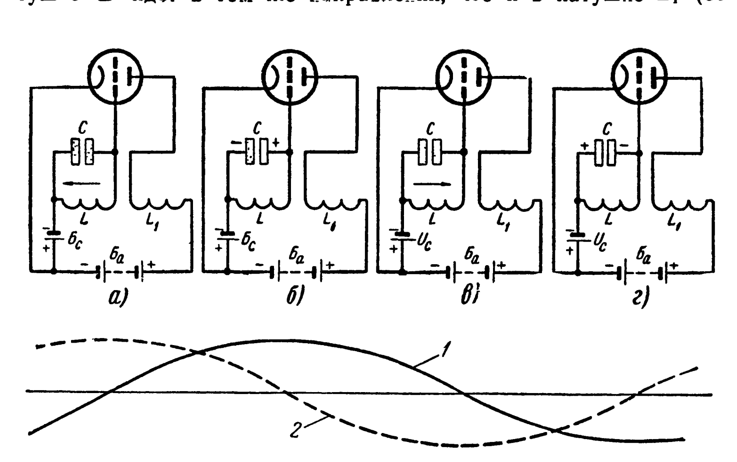
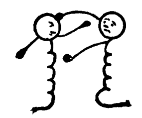


Рис. 36. Четыре фазы колебаний тока в генераторе.

1 — кривая изменения тока в анодной катушке L_1; *2* — то же в сеточной катушке *L*.

Обратите внимание на распределение электронов на пластинах конденсатора *С*.



анода к положительному полюсу батареи высокого напряжения $Б_а$).

Н. — Все это ясно из рисунка, но для чего все это?

Л. — Подумай. Что произойдет в момент включения схемы?

Н. — Ничего особенного ... Излученные катодом электроны притянутся анодом через сетку; затем они пройдут по катушке L_1 слева направо и через батарею $Б_а$ снова вернутся на катод. Больше я ничего не вижу.

Л. — Не забудь, что между катушками L и L_1 имеется индуктивная связь, поэтому произойдет еще что-то...

Н. — Это верно... Значит, когда через катушку L_1 пойдет ток слева направо, в катушке L наведется по закону индукции ток противоположного направления.

Л. — Правильно. Так как ток в катушке L_1 увеличивается, то индуктированный ток в катушке L будет иметь противоположное направление, чтобы оказать сопротивление возрастанию индуктирующего тока.

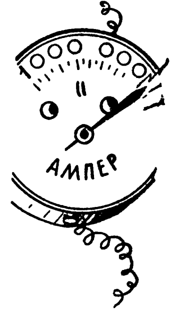
Н. — Теперь этот ток, идущий через катушку L справа налево, увлечет электроны сетки и правой пластины конденсатора *С* и соберет их на катоде и левой пластине (рис. 36, *б*).

Л. — Ты видишь, что сетка станет более положительной.



Н. — Но тогда она будет способствовать увеличению тока анода, который наведет в катушке L еще более сильный ток, сделающий сетку еще более положительной, и ...

Л. — Стой!.. Если ты будешь продолжать в том же духе, то договоришься вскоре до миллиона ампер. Не забудь, однако, что анодный ток не может бесконечно возрастать.



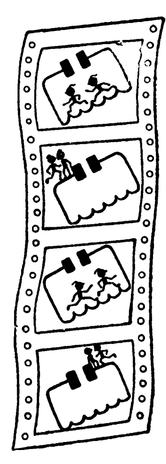
Н. — Действительно, он ограничен величиной тока насыщения.

Стало быть, когда сетка будет достаточно положительной, чтобы анодный ток достиг насыщения, он больше не будет увеличиваться. А так как он больше не будет изменяться, никакого тока в катушке L не будет.

Л. — Какое заблуждение! Конечно, не будет больше тока, индуктированного катушкой L_1. Однако разве ты не видишь, что тогда конденсатор C будет заряжен?

Н. — В самом деле. И он начнет, следовательно, разряжаться, причем потенциал сетки лампы окажется более отрицательным. Но мне кажется, что в этих условиях анодный ток начнет убывать.

Л. — Конечно. И это новое изменение тока в катушке L_1 вызовет в катушке L новый индуктированный ток; но в каком направлении он пойдет теперь?



Н. — Несомненно, слева направо. Прежде всего потому, что ты спрашиваешь таким тоном..., а затем и потому, что ток в катушке L_1 уменьшается, а ток в катушке L с его духом противоречия пойдет в том же направлении, т. е. слева направо, чтобы оказать сопротивление этому уменьшению.

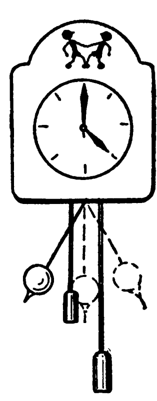
Л. — Вот это логично! И, таким образом, когда конденсатор C будет разряжен (рис. 36, *в*), процесс на этом не закончится. Ток в катушке L_1 будет продолжать индуктировать ток в катушке L, в результате чего потенциал сетки лампы будет становиться все более и более отрицательным и анодный ток в конце концов совсем прекратится.

...И ВСЕ НАЧИНАЕТСЯ СНАЧАЛА!

Н. — Однако, как я вижу (рис. 36, *г*), конденсатор будет в этот момент снова заряжен. Следовательно, он начнет разряжаться. Потенциал сетки лампы станет менее отрицательным. Снова появится анодный ток, который начнет возрастать...

Л. — И все начнется сначала! Разве ты не видишь, что мы вернулись к исходной точке наших рассуждений?

Н. — Это правда. Но это ведь дьявольски сложно!



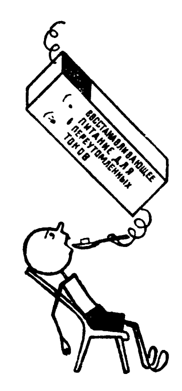
Л. — Не настолько, как тебе кажется. Рассмотрим токи в сеточной и анодной цепях. Ты видишь, что в сеточной цепи ток идет сначала в одном направлении, увеличивается и уменьшается, затем меняет направление и снова увеличивается...

Н. — Следовательно, это переменный ток?

Л. — Да. А какова его частота?

Н. — Конечно, его частота равна собственной частоте колебательного контура LC, находящегося в сеточной цепи лампы. Ведь в этом контуре, как ты мне раньше объяснял, конденсатор C попеременно заряжается и разряжается на катушку индуктивности L.

Л. — Это правильно. Только эти колебания не затухают и не прекращаются после нескольких колебаний, а поддерживаются путем постоянного добавления энергии, которую поставляет анодная батарея $Б_а$ через катушку L_1, связанную индуктивно с катушкой контура L.



Н. — Мне кажется, что я понял. Итак, движение электронов в колебательном контуре похоже, как мы уже отмечали, на движение маятника стенных часов. Точно так же, как маятник останавливается после определенного количества колебаний, если ничто не поддерживает это движение, так и электроны колеба-

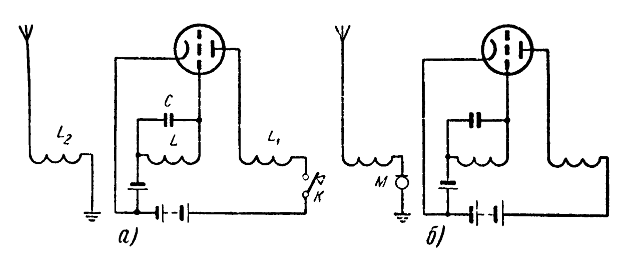
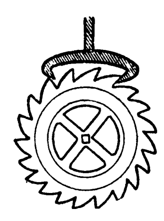


Рис. 37. Простейшие схемы радиопередатчиков.

а — радиотелеграфный с ключом *К*; *б* — радиотелефонный с микрофоном *М*.



тельного контура не будут постоянно двигаться через катушку индуктивности попеременно с одной пластины конденсатора на другую.

Чтобы поддерживать движение маятника, имеющаяся в часах натянутая пружина должна сообщать каждому колебанию маятника совсем небольшой толчок. В генераторе роль пружины играет батарея $Б_а$.

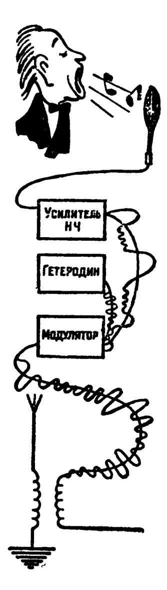
Л. — А что же играет роль спускового устройства?

Н. — Сетка.

а)
б)
в)

Рис. 38. Диаграммы токов в радиопередатчике.

а — немодулированный ток высокой частоты; *б* — модулирующие низкочастотные колебания; *в* — модулированный высокочастотный ток.



Л. — Незнайкин, я тебя поздравляю и предсказываю блестящую карьеру в радио.

Н. — Спасибо! Но теперь, когда я знаю, как генератор вырабатывает незатухающие колебания высокой частоты, можешь ты мне объяснить, как происходит излучение колебаний?

Л. — Это очень просто. Вырабатываемый переменный ток высокой частоты необходимо направить в антенну. Это можно сделать, связав индуктивно катушку L с катушкой L_2, включенной между проводом антенны и землей (рис. 37). Поместив в анодную цепь м а н и п у л я т о р *К* (ключ Морзе), мы сможем подавать короткие или длинные сигналы, соответствующие точ-

кам и тире азбуки Морзе. Таким образом происходит радиотелеграфная передача.

Н. — Но меня интересует радиотелефонная передача. И ты мне обещал объяснить, как усаживаются пассажиры низкой частоты в поезд тока высокой частоты.

Л. — Ты прав. Это очень легко сделать. Мы можем, например, включить микрофон в цепь антенны. Так как сопротивление микрофона меняется под действием звуковых волн, ток в антенне будет меняться в свою очередь. Иначе говоря, вместо незатухающих колебаний с постоянной амплитудой (рис. 38, *а*) мы будем иметь колебания с изменяющейся амплитудой (рис. 38, *в*), или модулированный ток высокой частоты.

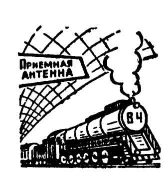
Н. — Я понимаю. Когда сопротивление микрофона увеличивается, амплитуда высокочастотных колебаний уменьшается. Именно в этом изменении амплитуд высокой частоты и заложен низкочастотный ток.

○

БЕСЕДА ДЕСЯТАЯ

В простейшем приемнике необходимы три элемента: приемная антенна, детектор и телефонные наушники. В этой беседе два наших друга обсуждают назначение и механизм детектирования. Само собой разумеется, что сначала они рассмотрят простейший метод — диодное детектирование. Не забудут они и о кристаллическом детекторе, который до сих пор имеет горячих сторонников. Затем Любознайкин расскажет об анодном детектировании.

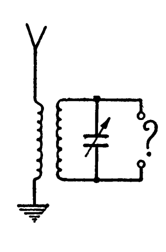
ПРИБЫТИЕ ПОЕЗДА НА ВОКЗАЛ



Незнайкин. — Я очень сержусь, что ты меня бросил для сдачи своих экзаменов в самый захватывающий момент.

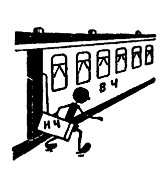
Мы остановились на том, что посадив пассажира (низкую частоту) в поезд (высокую частоту), мы дали сигнал отправления... и наш поезд высокой частоты все еще движется.

Любознайкин. — В самом деле, наступило время его остановить. Ты знаешь, конечно, что волны остановятся на станции назначения, которую называют приемной антенной.



В антенне эти волны возбуждают модулированный ток высокой частоты, который является точным, хотя и более слабым повторением тока, текущего в передающей антенне.

Н. — Я вспоминаю даже, что для получения определенной избирательности мы включаем в приемную антенну (или связываем с нею индуктивно) колебательный контур, на зажимах которого образуется переменное напряжение. Я хотел подать это напряжение на телефонные наушники, но ты сказал, что я ничего не услышу. И, действительно, я ничего не мог обнаружить.



Л. — Сегодня ты легко поймешь причины неудачи. Не забывай, что на наушники ты хотел подать модулированное напряжение высокой частоты. Мембрана наушников слишком «тяжела», чтобы колебаться на высокой модулированной частоте. Этому препятствует инерция мембраны.

Н. — Но если бы сумели изготовить тонкую и легкую мембрану, которая могла бы вибрировать при высокой частоте,...

Л. — ...то и тогда бы ты ничего не услышал, так как твое ухо не воспринимает звука столь высокой частоты. Мало того, ток такой частоты не пройдет через обмотки наушников, индуктивность которых представляет для него трудно преодолимое препятствие.



Н. — Но ведь в действительности ток высокой частоты нас совсем не интересует. Мы хотим сделать слышимой модулирующую низкую частоту. Что касается высокой частоты, то ее роль поезда сыграна. Нам ничего не остается, как заставить выйти пассажира низкой частоты.

Л. — Ты совершенно прав. Операция, целью которой является извлечение низкой частоты из модулированного тока высокой частоты, называется детектированием.

Н. — Если я хорошо понял, процесс детектирования противоположен процессу модуляции.

Л. — Это так. В модулированном токе низкая частота присутствует в виде изменения амплитуд тока высокой частоты. Выпрямив этот ток, мы вызовем появление низкой частоты.

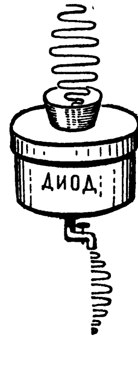
Н. — Я не знаю, как это сделать.

Л. — Однако это просто. Чтобы выпрямить ток, достаточно поместить на его пути проводник с односторонней проводимостью, т. е. проводник, который позволяет току легко протекать в одном направлении и не пропускает его, когда он течет в противоположном направлении.

Н. — Я совсем не представляю себе, как можно изготовить такой проводник-выпрямитель.

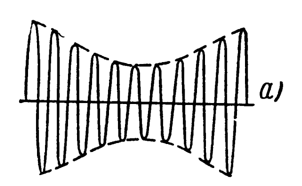
Л. — Но ты уже знаком с одним из них; это диод — лампа, в которой электроны могут идти от катода к аноду, но не наоборот.

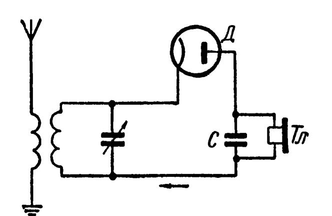
Н. — Это верно... Об этом я не подумал.

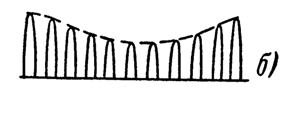


ВОТ КАК ДЕТЕКТИРУЮТ...

Л. — Итак, вместо того, чтобы соединить с зажимами колебательного контура непосредственно наушники, мы включим последовательно с ними диод (рис. 39). В этом случае модулированное напряжение высокой частоты (рис. 40, *а*) создаст в цепи диода *Д* и телефонных наушников *Т* ток только одного направления (рис. 40, *б*). Без диода мы имели бы импульсы высокой частоты, идущие поочередно в противоположных направлениях. Благодаря выпрямительному действию диода все эти импульсы будут действовать уже в одном направлении.







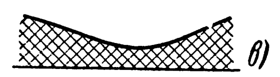
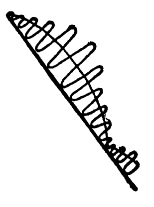
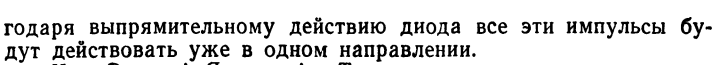


Рис. 39. Диод *Д* выпрямляет высокочастотные модулированные колебания, благодаря чему они слышны в наушниках *Т*.

Рис. 40. Графическое изображение процесса детектирования.

а — модулированные колебания высокой частоты; *б* — выпрямленные высокочастотные импульсы; *в* — ток низкой частоты.





Н. — Эврика! Я понял!... Так как импульсы идут в одном направлении, они окажут на мембрану наушников совместные действия, которые будут в большей или меньшей степени притягивать ее. Я говорю больше или меньше, так как амплитуды этих импульсов неодинаковы: они изменяются в соответствии с низкой частотой, которая заставит вибрировать в такт мембрану наушников.

РЕЗЕРВУАР, ЯВЛЯЮЩИЙСЯ АККУМУЛЯТОРОМ-РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕМ ЭЛЕКТРОНОВ

Л. — В основном ты правильно догадался о сущности явления. Однако в наших рассуждениях мы не приняли во внимание тот факт, что импульсы высокой частоты, даже односторонние (рис. 40, *б*), не могут пройти через обмотки наушников из-за их большого индуктивного сопротивления.

Н. — И что же? ... Опять мы ничего не услышим?

Л. — Услышим, но при условии сглаживания этих импульсов перед подачей их на наушники. Для этого параллельно наушникам мы присоединяем конденсатор *С* небольшой емкости (см. рис. 39), который будет заряжаться в большей или меньшей степени импульсами модулированного тока и разряжаться через обмотку наушников. Заряд будет больше или меньше в зависимости от амплитуды импульсов. Отсюда следует также и то, что разрядный ток (рис. 40, *в*), который пройдет через наушники, и будет настоящим током низкой частоты.

Н. — Словом, конденсатор *С* играет роль резервуара, который накапливает стремительно следующие один за другим заряды импульсов, а затем непрерывно отдает их телефонным наушникам.

Л. — Твое сравнение великолепно. Видимо, ты это хорошо понял. Продолжая аналогию дальше, ты можешь сравнить конденсатор *С* с резервуаром, предназначенным для сбора дождевых капель, из крана которого потечет непрерывная струя, более или менее сильная в зависимости от силы дождя.

НЕЗНАЙКИН ПОНЯЛ, ЧТО ТАКОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Н. — Теперь я попытаюсь сам вкратце изложить все, что ты рассказал о детектировании.

Модулированное напряжение высокой частоты выпрямляется диодом. В этом случае образуется серия высокочастотных импульсов одного направления, имеющих различную амплитуду. Эти импульсы непрерывно заряжают конденсатор *С*, который отдает

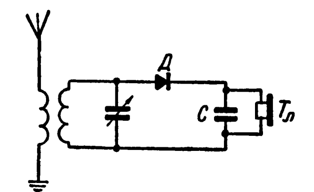
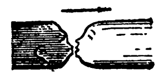


Рис. 41. Детектор *Д*, позволяющий детектировать слабые сигналы.

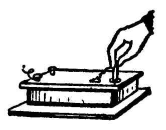


ток низкой частоты в телефонные наушники... и мы слышим музыку... Ах, если бы у меня был диод, я бы не тянул с постройкой приемника!

Л. — Подожди! Диод необходим тогда, когда речь идет о выпрямлении довольно значительных напряжений. Для слабых же напряжений лучше применить контактный детектор *Д* (рис. 41).

Н. — Вероятно, ты имеешь в виду старинный кристаллический детектор, состоящий из галенового кристалла и металлической спиральки, которая слегка упирается острием в поверхность кристалла?

Л. — Необязательно. Контактный детектор может быть изготовлен разными способами. Как только мы приводим в соприкосновение два проводника, различающихся в каком-либо отношении (химическим составом или температурой), проводимость становится неодинаковой в двух направлениях. И так как не существует двух тел абсолютно идентичных, можно сказать, что все контакты являются выпрямителями! Однако одни контакты обладают выпрямительными свойствами, выраженными более отчетливо, чем другие. Например, контакт из свинцового блеска (галена) с металлом представляет собой хороший детектор, хотя он очень неустойчив в работе и может детектировать только очень слабые токи.



Н. — О, да, я знаю. Впрочем, ведь это увлекательная игра — искать «чувствительную точку» на галеновом кристалле.

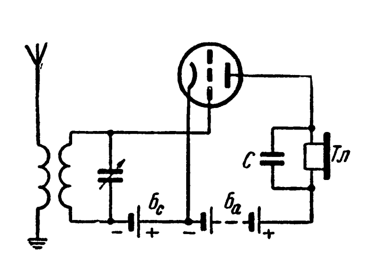


Рис. 42. Схема анодного детектирования.

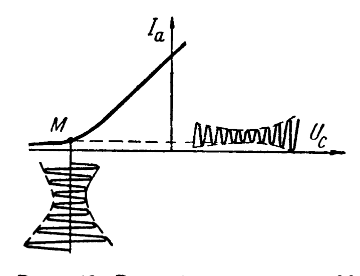


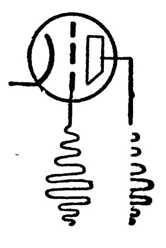
Рис. 43. В рабочей точке M переменные напряжения на сетке лампы создают выпрямленный ток в цепи анода.



Л. — Существуют детекторы с контактами, не имеющими этих недостатков, например медь и закись меди, а также германий или кремний со стальным острием. Последние детектируют токи очень высокой частоты.

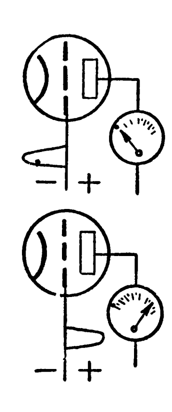
Н. — Как бы там ни было, я вижу, что детектор всегда является выпрямителем.

Л. — Да. Однако выпрямление можно произвести также и другим способом, чем тот, с которым мы только что познакомились. Для этого можно использовать усилительную лампу, сетка которой находится под постоянным отрицательным напряжением от батареи $Б_с$ (рис. 42), при котором анодный ток лампы равен почти нулю (точка M на нижнем изгибе характеристики лампы на рис. 43).



Модулированное напряжение высокой частоты подается между сеткой и катодом лампы. В этом случае положительные полупериоды переменного тока вызывают появление анодного тока переменной величины. Наоборот, отрицательные полупериоды переменного тока увеличивают отрицательный потенциал сетки и ток в анодной цепи прекращается.

Н. — Я очень хорошо представляю себе, что происходит. В анодной цепи появляется серия импульсов тока одного направления, которые следуют друг за другом с высокой частотой и изменяющейся по величине амплитудой.



Конденсатор *C* малой емкости, заряжаясь, суммирует отдельные импульсы и питает затем напряжением низкой частоты телефонные наушники точно так же, как и в случае с диодным детектором.

Л. — Действительно, ты хорошо понял детектирование. Метод, представленный на рис. 42, называется анодным детектированием. Твои друзья, вероятно, скажут тебе, что имеется также и «сеточное детектирование». Но ты им не верь. Этот термин употребляют только горе-техники, не понимающие техники *. К этому так называемому детектированию мы еще вернемся.

* См. сноску в двенадцатой беседе (стр. 69).

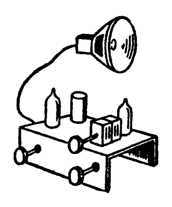


БЕСЕДА ОДИННАДЦАТАЯ

На этот раз длинная беседа наших двух друзей посвящена усилению. После того как было установлено, что оно необходимо как для токов низкой, так и для токов высокой частоты, Любознайкин излагает принцип трансформаторной связи, а также различные способы получения напряжения сеточного смещения, обычно используемые в приемниках с питанием от электросети.

ТЯГОТЫ ПУТЕШЕСТВИЯ

Незнайкин. — Из нашей последней беседы я, наконец, понял. как происходит детектирование, т. е. как пассажир (низкая частота) сходит с поезда (высокая частота), который его привез на станцию (приемник).



Теперь я горю желанием начать, наконец, постройку хотя бы самого простого приемника, состоящего из колебательного контура, диодного детектора и громкоговорителя.

Любознайкин. — Вечно ты переполнен несбыточными идеями. Громкоговоритель у такого приемника будет нем, как рыба.

Ты забываешь, что твой пассажир, проделав большой путь (со скоростью 300 000 *км/сек*), прибывает к приемнику очень усталым и ослабевшим!..

Н. — Есть отчего!..



Л. — Так вот, ток, возбуждаемый в твоем приемнике, будет слишком слабым, чтобы раскачать громкоговоритель. Поэтому после детектирования перед подачей на громкоговоритель его надо усилить. В этом и заключается роль у с и л е н и я н и з к о й ч а с т о т ы (УНЧ). В результате действия усилителя происходит увеличение амплитуды низкой частоты.



Но, с другой стороны, если пассажир едет издалека, то у него не будет даже силы сойти с поезда. Иначе говоря, ток, который возбуждается волнами в приемной антенне, будет таким слабым, что его нельзя будет даже продетектировать.

Н. — Я думаю, что в этом случае необходимо укрепить силы пассажира перед его выходом из поезда.

Л. — Именно так и делают. Ток высокой частоты предварительно усиливают. Благодаря у с и л е н и ю в ы с о к о й ч а с т о т ы (УВЧ) удается детектировать даже самые слабые сигналы. Следовательно, усиление высокой частоты способствует увеличению ч у в с т в и т е л ь н о с т и приемника или, иначе говоря, дальности действия.

НЕЗНАЙКИН ФОРМУЛИРУЕТ ЗАДАЧУ



Н. — Словом, в хорошем приемнике нужно усиливать как высокую, так и низкую частоты (рис. 44). Но что касается усиления, то я полагаю, мы уже все узнали.

Л. — Глубоко заблуждаешься, дружище. Ты знаешь о роли усилительной лампы и о том, что малейшие изменения напряжения, поданного на вход лампы (т. е. между сеткой и катодом), вызывают значительные изменения анодного тока. Но ты совсем

не знаешь, каким образом устроены цепи связи, которые позволяют включить последовательно две усилительные лампы.

Н. — Мой учитель математики всегда утверждал, что ясно сформулированная задача уже наполовину решена. Так вот я и попытаюсь изложить задачу, которую ты только что мне задал.

В лампе (рис. 45) имеется «вход» — это сетка и катод. Между этими двумя электродами включается переменное напря-

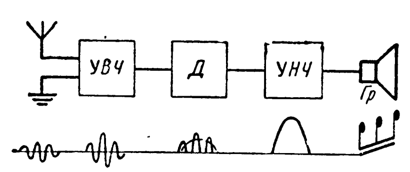


Рис. 44. Простейшая скелетная схема приемника прямого усиления.

УВЧ — усилитель высокой частоты, повышающий чувствительность и избирательность; *Д* — детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты, увеличивающий громкость звучания; *Гр* — громкоговоритель.

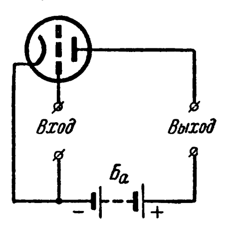
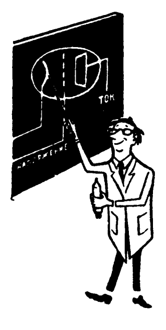


Рис. 45. „Четыре основные точки" лампы (на входе между сеткой и катодом и на выходе между анодом и положительным полюсом источника высокого напряжения).

жение высокой или низкой частоты. Кроме того, имеется «выход» — это анодная цепь, в которой между анодом и положительным полюсом источника высокого напряжения мы можем снимать изменяющийся по величине анодный ток. Но чтобы заставить работать следующую лампу, нам нужен не переменный ток, а переменное напряжение, которое мы должны подать между ее сеткой и катодом.



Л. — Ты на правильном пути. Напрашивается необходимость преобразования переменного анодного тока в переменное напряжение.

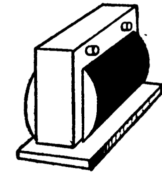
Н. — Это легко сказать, но я не вижу, каким образом этого можно добиться.

Л. — Такое преобразование может быть сделано, например, при помощи т р а н с ф о р м а т о р а...

СТАРОЕ ЗНАКОМСТВО

Н. — А что это за прибор — трансформатор?

Л. — Трансформатор? Так ведь это твой старый знакомый, только ты не знал его имени. Так называют прибор, имеющий две индуктивно связанные обмотки. Ты уже знаешь, что когда по первой обмотке проходит изменяющийся по величине ток, во второй обмотке наводится индуктированное напряжение.



Если через первую обмотку (называемую первичной) пропустить переменный ток, то во второй обмотке (вторичной) электроны начнут постоянно перемещаться в соответствии с индуктирующим током, создавая таким образом переменное напряжение между концами обмотки (рис. 46).

Н. — Теперь я вижу решение: достаточно включить в анодную цепь первой лампы первичную обмотку трансформатора, а его вторичную обмотку присоединить к сетке и катоду второй лампы (рис. 47). При этом в первичной обмотке будет проходить изменяющийся по величине анодный ток первой лампы. Он наведет переменное напряжение иа концах вторичной обмотки,

которое окажется приложенным между сеткой и катодом второй лампы... Одним словом, все, как водится во всех хороших домах.

Л. — Подожди торжествовать, дружище. Пока наша схема имеет серьезный недостаток. Ты, вероятно, уже заметил, что каждая лампа в этой схеме имеет свой источник высокого напря-

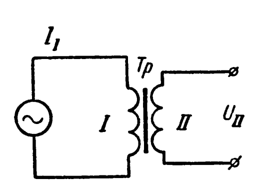


Рис. 46. Переменный ток в первичной обмотке *I* трансформатора *Тр* наводит переменное напряжение на зажимах вторичной обмотки *II*.

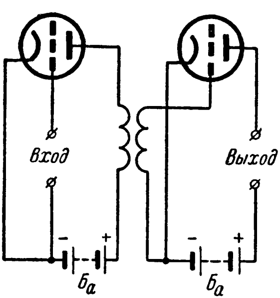
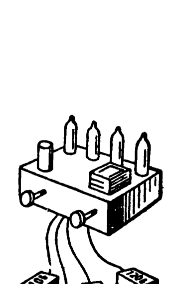


Рис. 47. Трансформаторная связь двух усилительных ламп.

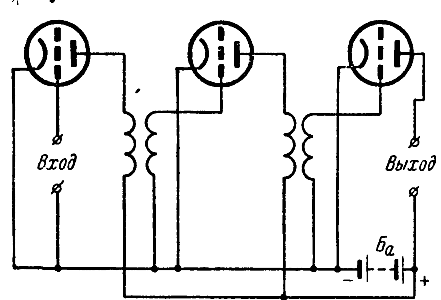
жения, предназначенный для создания анодного тока. Однако идет ли речь о батарее или о другом источнике питания, он является дорогостоящим прибором. Теперь представь себе, что если (в целях получения большого усиления) мы хотим применить не две, а три или больше ламп, то нам понадобится столько же источников высокого напряжения, а это будет сопряжено с большими расходами.

ПРОБЛЕМЫ ПИТАНИЯ



Н. — А, может быть, можно использовать один общий источник для питания всех ламп?

Л. — Именно так и делается в действительности. Посмотри на рис. 48; три усилительные лампы питаются от одного источ-



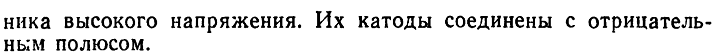
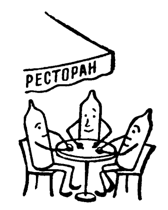


Рис. 48. Питание трех ламп от общего источника высокого напряжения $Б_а$.



ника высокого напряжения. Их катоды соединены с отрицательным полюсом.

Н. — Мне кажется, что это правильно. Вместо того, чтобы готовить еду для каждой лампы индивидуально, их кормят из общей кухни ресторана.

Л. — Поскольку ты дошел до этого сам, позволь тебе напомнить, что питание лампы состоит не только из источников высокого напряжения и накала, но и из источника отрицательного сеточного смещения.

Н. — Действительно. Я совершенно забыл об этом добавлении, о котором ты уже говорил. Если я правильно припоминаю, сетка должна иметь такое отрицательное напряжение по отношению к катоду, чтобы рабочая точка находилась на прямолинейном участке характеристики лампы, и под действием приложенного к лампе переменного напряжения сетка никогда не должна становиться положительной.

Л. — Ты забыл, что сетка должна иметь такое отрицательное напряжение, чтобы рабочая точка не выходила за пределы прямолинейной части характеристики во избежание искажений при усилении колебаний.

Н. — Каким же путем мы практически сделаем сетку отрицательной по отношению к катоду? Я думаю, что проще всего использовать для этого маленькую батарейку от карманного фонаря.

Л. — Так делают в приемниках, питание которых производится от батарей. Но большинство ламповых радиоприемников питается не от батарей, а от осветительной сети переменного тока. Чтобы в этом случае получить напряжение смещения, применяют столь же остроумный, сколь и простой прием, используя падение напряжения за счет анодного тока на сопротивлении, включенном в цепь катода.

НЕЗНАЙКИН В РОЛИ ЭЛЕКТРОНА

Н. — Сначала скажи мне, что такое падение напряжения.

Л. — Когда поток электронов встречает на своем пути сопротивление, электроны преодолевают его с трудом. Поэтому на входе сопротивления происходит накапливание электронов, а на выходе сопротивления электронов окажется меньше, чем на

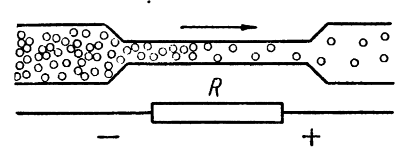
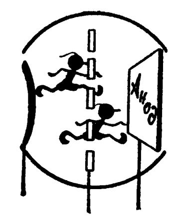


Рис. 49. Проходя через сопротивление R, ток создает на его концах падение напряжения.
Стрелкой показано направление движения электронов.



входе. Следовательно, вход сопротивления будет более отрицателен, чем выход (рис. 49). Созданное таким образом напряжение при прохождении тока через сопротивление называется *падением напряжения*. Оно тем больше, чем больше проходящий через сопротивление ток и чем больше само сопротивление *.

Н. — Это похоже на поведение людей, которые, стремясь выйти из помещения через узкий проход, скапливаются перед

* Падение напряжения (в вольтах) равно произведению величины тока (в амперах) на сопротивление (в омах): $U=IR$. Это другое выражение закона Ома, сформулированного в первой беседе в виде $I=\frac{U}{R}$, непосредственно из него вытекающее. Например, ток 3 *а*, проходящий через сопротивление 5 *ом*, создает падение напряжения 15 *в*.

ним. Когда они, наконец, вырываются на простор, где можно свободно вздохнуть, то сразу понимают, что такое разность давлений или падение напряжения.

Л. — Я вижу, что ты легко вошел в роль электрона. Чтобы вернуться к вопросу о сеточном смещении, соберем схему (рис. 50), в которую включим резистор R с необходимым сопротивлением на пути анодного тока между отрицательным полюсом источника высокого напряжения и катодом. Поток электронов внутри лампы идет от катода к аноду, а во внешней цепи он проходит через первичную обмотку трансформатора связи *Тр*, источник высокого напряжения и через резистор R возвращается на катод. Проходя через резистор, этот поток образует на его концах падение напряжения, причем знак на его нижнем конце окажется отрицательным по отношению к верхнему.

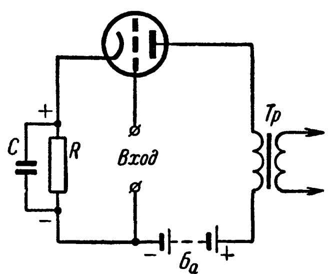
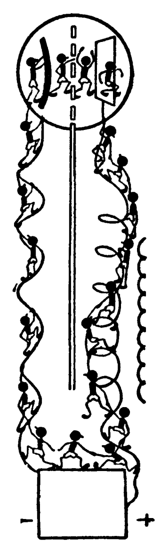


Рис. 50. Анодный ток, проходя через резистор R, создает напряжение, которое прикладывается между сеткой и катодом лампы.

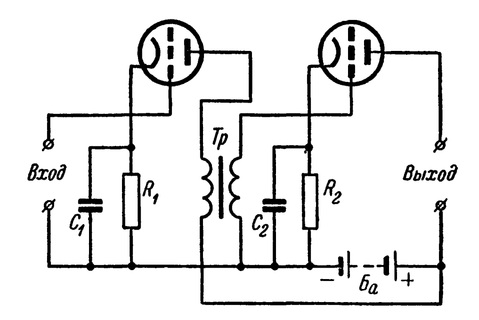


Сетка присоединена к нижнему концу резистора, а катод — к верхнему. Таким образом, сетка будет иметь отрицательное напряжение по отношению к катоду.

Н. — Это оказалось довольно простым. Но для чего служит конденсатор C?

Л. — Не забудь, что анодный ток лампы является постоянным только до тех пор, пока постоянно напряжение на сетке. Когда же к сетке прикладывается переменное напряжение, то и ток в анодной цепи начинает изменяться с той же частотой. Изменяющийся анодный ток с трудом проходил бы через сопро-

Рис. 51. Двухламповый усилитель, в котором сеточное смещение создается с помощью резисторов R_1 и R_2.

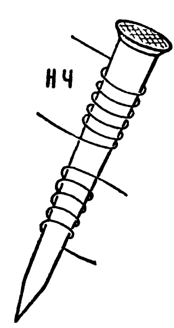


тивление резистора, конденсатор же представляет для этого тока более легкий путь. Говорят, что через конденсатор C проходит переменная составляющая анодного тока.

Н. — Значит, для получения напряжения смещения в анодную цепь каждой усилительной лампы надо включить резистор?

Л. — Конечно. Для примера я нарисую тебе схему с двумя усилительными лампами (рис. 51), связанными трансформатором *Тр*. Первая получает смещение от резистора R_1, а вторая — от резистора R_2.

ТРАНСФОРМАТОРЫ НИЗКОЙ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

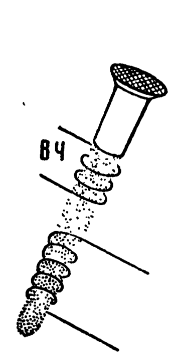


Н. — А что это за жирная линия, которую ты начертил между обмотками трансформатора?

Л. — Так обозначается сердечник, используемый в трансформаторах низкой частоты. Так как магнитное поле легче проходит через сердечник, чем через воздух, индуктивность обмотки, намотанной на сердечник, увеличивается. Чтобы переменный ток, протекающий через обмотки, не наводил токов индукции в самом сердечнике, его собирают из тонких изолированных пластин.

Н. — А почему сердечники делают только для трансформаторов низкой частоты?

Л. — Потому что токи высокой частоты из-за большой частоты их изменения создали бы в сердечнике большие потери



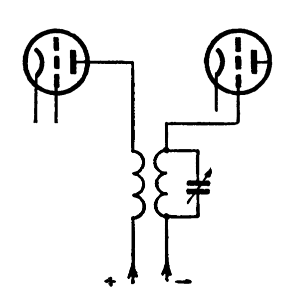
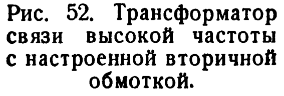



Рис. 52. Трансформатор связи высокой частоты с настроенной вторичной обмоткой.

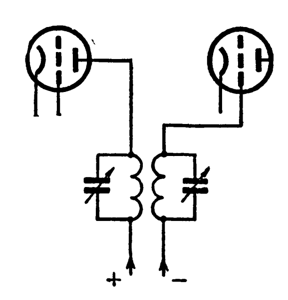


Рис. 53. Трансформатор связи высокой частоты с двумя настроенными обмотками.

для возбуждающего тока. Поэтому на высоких частотах предпочитают использовать трансформаторы без сердечников.

Н. — Нельзя ли, однако, уменьшить индуктивные токи до минимума, сделав сердечники с большим сопротивлением для наводимых в них токов? Можно было бы, например, составить их из мельчайших частичек железа, изолированных друг от друга.

Л. — Так часто и делают. Для трансформаторов высокой частоты сердечники прессуются из специальной массы, состоящей из железного порошка, перемешанного с изоляционным материалом.



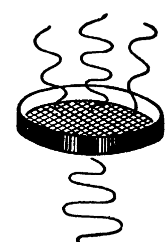
Н. — Словом, единственное различие в устройстве усилителей высокой и низкой частоты заключается, если я правильно понял, в сердечнике. В первом случае это воздух или железный порошок, во втором — листовая сталь.

Л. — Нет, разница значительно глубже. Когда усиливаются токи низкой частоты, особое внимание должно быть уделено тому, чтобы все частоты усиливались равномерно во избежание нарушения пропорциональности в интенсивности звучания отдельных звуков. Мы не заинтересованы в том, чтобы какой-нибудь звук выделялся в ущерб другим.

Что же касается высокой частоты, то для нас чрезвычайно важно отобрать только тот ток, частота которого соответствует принимаемой нами станции, исключая токи других частот.

Н. — Значит, при усилении высокой частоты надо использовать избирательные контуры связи, иначе говоря, настроенные контуры?

Л. — Конечно. Нужно, чтобы решение задачи повышения избирательности, начатое в настроенном контуре антенны, было продолжено системой контуров связи в усилителе высокой частоты. Мы используем избирательные трансформаторы, настраивая одну (рис. 52) или даже обе (рис. 53) обмотки. Такие трансформаторы пропустят ток только той частоты, на которую они настроены, исключая любую другую.

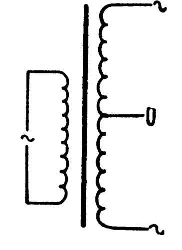


ИСКУССТВО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

Н. — Меня сбивает с толку одно обстоятельство, Любознайкин. Поскольку переменный ток первичной обмотки трансформатора вызывает появление переменного напряжения на концах вторичной обмотки, почему используется только один из концов вторичной обмотки?

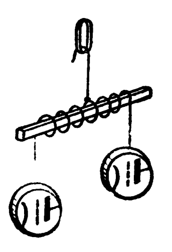
Л. — Что ты этим хочешь сказать?

Н. — Возникает вопрос, нельзя ли вывести точно от середины вторичной обмотки отвод и заземлить его. В этом случае напряжение на каждом из концов обмотки попеременно меняло бы знак относительно средней точки (которую, если я правильно понял, можно рассматривать как точку нулевого потенциала).



Л. — Это действительно так, дружище. Такая схема похожа на качели в виде доски, середина которой опирается на какую-нибудь подставку. Когда ребенок, сидящий на одном из концов доски, поднимается, другой — на противоположном конце опускается и наоборот. Твоя идея великолепна. Можно, действительно, подать напряжения противоположных полярностей, возникающие на обоих концах вторичной обмотки, на сетки двух ламп. Таким образом осуществляют симметричную или двухтактную схему (на радиолюбительском жаргоне она называлась раньше пушпульной схемой).

Н. — Еще одно изобретение, которое у меня украли до того, как я его сделал! Ну, не важно. Удовольствуемся тем, что лампы качаются на качелях. Однако мне не нравится распределение анодных токов в этих лампах. Ведь когда один из токов увеличивается при увеличении напряжения на сетке, другой должен падать, так как напряжение на второй сетке при этом уменьшается. Как тут быть?



Л. — Вот тоже незадача, бедный Незнайкин! Однако выход из положения крайне прост. Достаточно присоединить аноды ламп к концам другого трансформатора, на среднюю точку которого включено анодное напряжение (рис. 54).

Н. — Много мы от этого выиграем! Как, ты хочешь, чтобы такая схема работала? Ведь действие обоих анодных токов взаимно компенсируется, так как при увеличении одного из них другой уменьшается и наоборот.

Л. — Ты просто не учел, что направление этих токов также противоположно — от разных концов обмотки к середине. Поэтому когда один ток увеличивается, обегая витки в одном из направлений, другой уменьшается, но при этом обегает витки в противоположном направлении. Следовательно, эффекты, создаваемые этими токами, иными словами токи, наведенные во вторичной обмотке, суммируются.

Н. — Кажется, ты прав, так как два отрицания эквивалентны утверждению. Но разреши мне проанализировать работу схемы методически. Допустим, что ток через лампу $Л_2$ увеличивается, а через лампу $Л_3$ уменьшается.

Л. — Пусть, кроме того, ток лампы $Л_2$ обегает первичную обмотку второго трансформатора по часовой стрелке, а ток лампы $Л_3$ — против часовой стрелки. Что при этом произойдет?

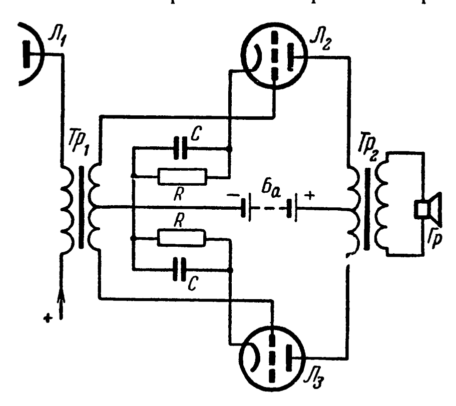
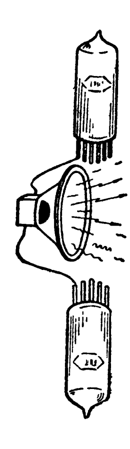


Рис. 54. Схема двухтактного каскада.



Н. — Законы индукции непреложны. Увеличивающийся ток лампы $Л_2$ наведет во вторичной обмотке ток противоположного направления, т. е. против часовой стрелки наших пресловутых часов.

Л. — А ток лампы $Л_3$?

Н. — В силу того, что он уменьшается, наведенный ток должен иметь то же направление, т. е. опять-таки против часовой стрелки. Поразительно! Направление обоих наведенных токов одинаково!... А в каких случаях применяют двухтактные схемы?

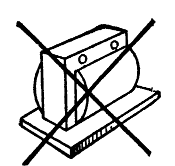
Л. — В основном в выходных каскадах, чтобы подвести к громкоговорителю *Гр* мощность, увеличенную в результате совместной работы двух ламп. Но я боюсь, что если сегодня вечером мы будем продолжать совместную работу, «мощь» наших умозаключений упадет...

БЕСЕДА ДВЕНАДЦАТАЯ

Все идет наилучшим образом. Незнайкин приобщается к различным методам связи между каскадами приемника. Он легко находит им применение для частного случая связи между детекторным диодом и первым каскадом усилителя низкой частоты. Более того, он вновь открывает то, что называют сеточным детектированием. Но зачем Любознайкину нужно, перед тем как употребить этот термин в дружеской беседе, погрузить своего друга в самое мрачное отчаяние!..

ОПАСНЫЕ СВЯЗИ

Любознайкин. — В прошлый раз мы рассматривали работу усилителей с трансформаторной связью. Но я должен тебе признаться...



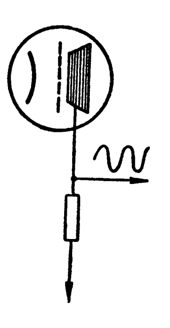
Незнайкин. — Подожди! Мне кажется, я догадываюсь, что ты хочешь сказать; вероятно, существуют еще и другие виды усилителей. Не так ли?

Л. — Да, но как ты догадался?

Н. — Может быть, это и глупо, но мне пришла в голову замечательная мысль. Я думаю, что можно отлично обойтись без всякого трансформатора при осуществлении связи между лампами. Прошлый раз ты говорил, что ток, проходя через резистор, создает на нем падение напряжения. И если ток изменяется, то, я думаю, напряжение на концах резистора будет также изменяться.

Л. — Это верно.

Н. — Так чего же нам еще надо? Вот средство преобразовать изменение тока первой лампы в изменение напряжения, которое должно быть приложено между сеткой и катодом второй лампы. Достаточно включить резистор в анодную цепь первой лампы, получить на нем падение напряжения и приложить его между сеткой и катодом второй лампы (рис. 55).



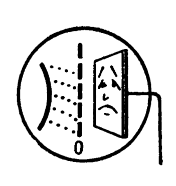
Л. — Осторожно, дружище. В принципе мысль замечательная. Однако нельзя непосредственно соединить сетку второй лампы с резистором в анодной цепи первой лампы.

Н. — Почему нельзя?

Л. — Потому что этот резистор соединен с положительным полюсом источника высокого напряжения. Если мы соединим резистор с сеткой, как ты предложил, то высокое положительное напряжение попадет и на сетку второй лампы. Это опасный вид связи.

Н. — Чем же?

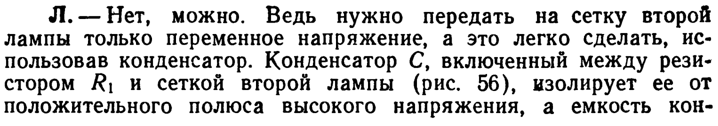
Л. — Несчастный! Ты уже забыл, что потенциал сетки усилительной лампы должен быть всегда отрицательным. Область положительных напряжений является для сетки запретной зоной. В данном случае, если ты сообщишь сетке второй лампы положительное напряжение, такое же высокое, как и на аноде первой, вторая лампа будет работать в режиме насыщения.



Н. — Действительно, слишком положительная сетка притянет все электроны, испускаемые катодом.

Л. — Ты теперь видишь, к чему привел твой неосторожный проект.

Н. — Так значит, ничего нельзя сделать?



Л. — Нет, можно. Ведь нужно передать на сетку второй лампы только переменное напряжение, а это легко сделать, использовав конденсатор. Конденсатор C, включенный между резистором R_1 и сеткой второй лампы (рис. 56), изолирует ее от положительного полюса высокого напряжения, а емкость кон-

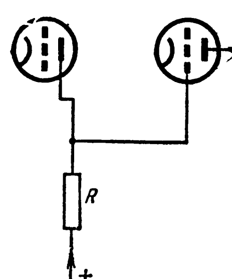


Рис. 55. Напряжение, создаваемое на резисторе R анодным током первой лампы, подается на сетку второй лампы.

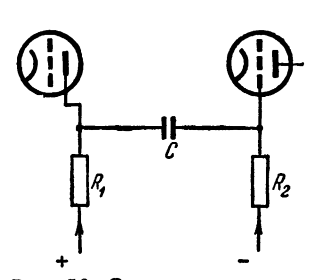
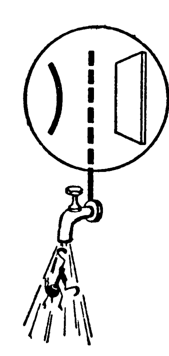
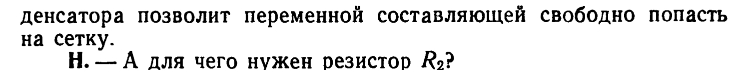


Рис. 56. Связь через сопротивление и емкость.

R_1 — резистор в цепи анода; C — конденсатор связи; R_2 — резистор в цепи сетки.



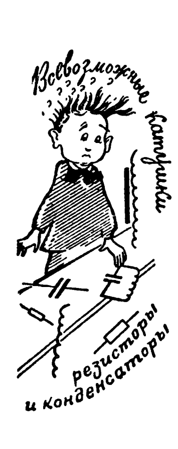


денсатора позволит переменной составляющей свободно попасть на сетку.

Н. — А для чего нужен резистор R_2?

Л. — Если бы его не было, то часть электронов накапливалась бы на сетке, которая с точки зрения постоянного тока была бы совсем изолирована. Эти электроны создали бы на сетке такой отрицательный потенциал, что она стала бы препятствовать прохождению анодного тока, и лампа оказалась бы «парализованной», запертой. Чтобы этого не случилось и электроны могли свободно стекать с сетки, и применяется резистор R_2, называемый сопротивлением утечки. Этот резистор позволяет стабилизировать потенциал сетки путем связи с отрицательным полюсом источника высокого напряжения.

Н. — Значит, переменное напряжение подводится к сетке второй лампы через конденсатор связи C, а постоянное напряжение смещения, которое определяет рабочую точку, — через резистор R_2?



В ЦАРСТВЕ РЕАКТИВНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Л. — Правильно. Рассмотренный вид междуламповой связи через сопротивление и емкость называется резистивно-емкостной связью. Однако вместо активного сопротивления резистора R_1 можно использовать любого вида реактивное сопротивление, на котором переменная составляющая анодного тока создаст переменное напряжение.

Н. — А можно, например, использовать индуктивное сопротивление?

Л. — Конечно. Иногда в усилителе низкой частоты используется связь при помощи дросселя (рис. 57). В этом случае катушка индуктивности L делается с сердечником.

Н. — А какой из этих способов связи лучше?

Л. — Это зависит от обстоятельств. Каждый способ имеет свои достоинства и недостатки.

Основным недостатком резистивно-емкостной связи является большое падение постоянного напряжения на сопротивлении R_1 (рис. 56). Таким образом, на анод лампы приходится только небольшая часть общего напряжения источника.

Дроссельная связь почти не создает падения напряжения постоянного тока, но она имеет другой недостаток. Усилитель с дроссельной связью неодинаково усиливает все низкие частоты.



Н. — Почему же это?

Л. — Разве ты забыл, что индуктивное сопротивление катушки зависит от частоты тока. Поэтому и получается, что для более высоких частот, соответствующих высоким нотам, и индуктивное сопротивление будет более высоким. А следовательно, и переменные напряжения, развиваемые на индуктивном сопротивлении, для высоких звуковых частот будут более высокими, чем для низких. Следовательно, высокие ноты будут усилены больше,

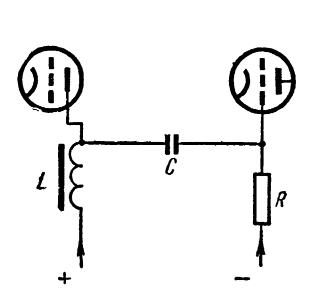


Рис. 57. Связь через индуктивное сопротивление (дроссель сердечником).

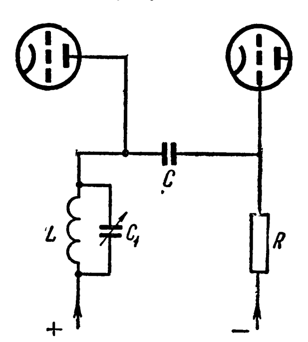
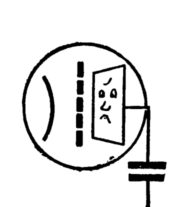


Рис. 58. Связь через колебательный контур LC_1.

C — разделительный конденсатор; *R* — резистор утечки сетки.

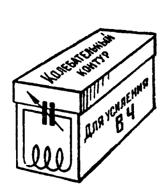


Н. — В то время как активное сопротивление дает одинаковое усиление всех частот. Не правда ли?

Л. — Да, конечно. Наконец, имеется еще один вид сопротивления, часто употребляемого в цепях связи.

Н. — Емкостное сопротивление?

Л. — Нет, конденсатор нельзя включить в анодную цепь, так как тогда на анод первой лампы не попадет постоянное напряжение источника высокого напряжения.



Н. — В таком случае я не знаю, какой еще вид сопротивления ты имеешь в виду, и отказываюсь дальше угадывать.

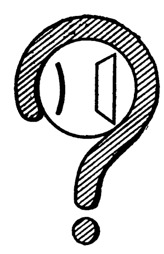
Л. — Напоминаю тебе, что колебательный контур представляет собой своеобразное сопротивление, имеющее наибольшее значение для тех частот, на которые он настроен.

Н. — Об этом я не подумал. Значит, можно осуществить связь, применяя в качестве нагрузки колебательный контур LC_1 (рис. 58). Вероятно, такая связь пригодна только для усиления высокой частоты?

Л. — Конечно. Теперь ты видишь, что это высоко избирательный вид связи, потому что только токи резонансной частоты контура создадут на нем напряжение, которое и передается на сетку следующей лампы через разделительный конденсатор *C*.

Н. — Мне кажется, я хорошо понял основные способы связи, которые ты объяснил. Однако я боюсь, что не смогу их применить в схеме с детекторным диодом. Мне непонятно, где у диода вход и выход?

ОСОБЫЙ СЛУЧАЙ



Л. — Действительно, это несколько особый случай, но решение его как нельзя более простое. Ты помнишь, что благодаря односторонней проводимости диода мы получаем в цепи катод — анод односторонние импульсы, которые накапливаются в маленьком конденсаторе. Таким образом, через наушники будет проходить ток низкой частоты.

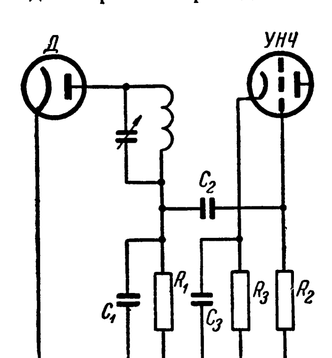


Рис. 59. Связь между диодом детектора *Д* и триодом усилителя низкой частоты *УНЧ*.

Напряжение на R_1C_1 передается на сетку лампы *УНЧ* через конденсатор C_2; R_2 — сопротивление утечки; R_3C_3 — цепь сеточного смещения.

Н. — Да, но так как речь идет о последующем усилении этого тока, наушников после диода не будет.

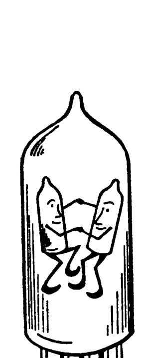
Л. — Конечно. Вместо наушников включим резистор R_1, сохраняя также конденсатор (резервуар) C_1 (рис. 59). Ток низкой частоты, проходящий через резистор R_1, создает на нем переменное напряжение, которое через конденсатор связи C_2 подводится к сетке первой лампы усилителя низкой частоты.

Н. — А резистор R_2?..

Л. — Это классическое сопротивление утечки, которое ты, к сожалению, сразу не узнал.

Н. — Напротив, я отлично вижу, что R_2 — это сопротивление утечки усилительной лампы.

Л. — Вот и прекрасно!.. Обрати внимание на то, что колебательный контур можно включать не только в анодную цепь, как это показано на схеме, но и в катодную.



Н. — Это понятно. Ведь в любом из этих случаев контур будет определять переменную разность потенциалов между электродами диода.

Л. — Можно еще добавить, что вакуумный диод может быть заменен полупроводниковым (рис. 60).

Н. — Иными словами, не неустойчивым галеновым, а германиевым или кремниевым?

Л. — Да. Попутно можно отметить, что вместо отдельных детекторной лампы — диода и лампы усиления низкой частоты — триода часто применяют комбинированную лампу — диод-триод, у которой обе системы электродов заключены в одном баллоне. При этом оказалось возможным упростить лампу и сделать общий катод для диода и триода.

Н. — Значит, эта лампа позволяет уменьшить размеры приемника и сэкономить на энергии для питания накала!

Л. — Схема с использованием диод-триода (рис. 61) совершенно аналогична схеме с отдельными диодом и триодом. Заметь, что резистор R_3 служит для создания отрицательного на-

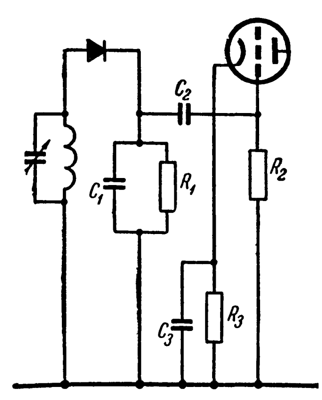


Рис. 60. Полупроводниковый диод может заменить ламповый на рис. 59.

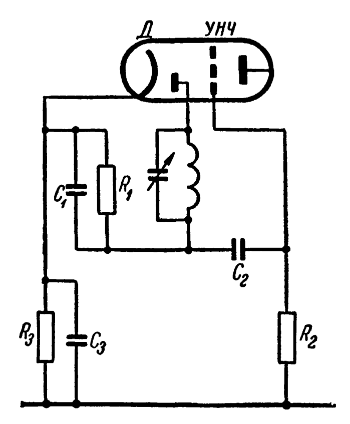


Рис. 61. Две лампы на рис. 59 объединены в один диод-триод (детали те же что и на рис. 59).



пряжения на сетке благодаря тому, что потенциал катода положителен относительно отрицательного вывода источника питания.

Что же касается анода диода, то он в отсутствие колебаний имеет потенциал катода, потому что ток диода после прохождения через резистор R_1 возвращается непосредственно на катод.

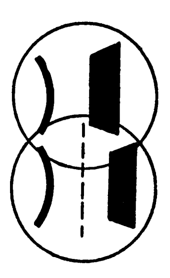
ИДЕЯ НЕЗНАЙКИНА

Н. — Мне пришла в голову одна идея.

Л. — Я ей принципиально не доверяю. Впрочем, расскажи.

Н. — Я спрашиваю себя, нельзя ли продолжить упрощение и совместить, например, функции анода диода и сетки триода. Тогда напряжение высокой частоты, приложенное между сеткой и катодом (рис. 62), будет выпрямлено по обычной схеме диодного детектирования. Сетка триода в данном случае будет служить анодом диода, а напряжение низкой частоты, которое будет развиваться на резисторе R_1 и накопительном конденсаторе C_1, окажется приложенным между сеткой и катодом триода, и лампа будет работать как усилитель низкой частоты...

Л. — Наоборот. Меня развеселило то, что ты сейчас снова открыл и очень хорошо объяснил некогда очень распространенный вид детектирования, который называли сеточным детектированием.



Как ты очень хорошо подметил, речь идет не о специальном виде детектирования, а по существу о диодном детектировании в сочетании с усилением низкой частоты, при котором один и тот же электрод (сетка) служит и анодом диода и сеткой триода. Однако это простое и логичное объяснение не было найдено теми техниками, которые для объяснения такого способа детектирования занимались досужими вымыслами столь же сложными, сколь и туманными *.

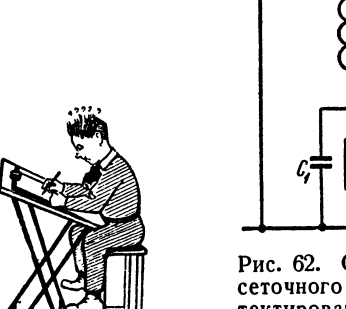
* Термин «сеточное детектирование» общепринят и является правильным термином. Между сеточным детектором и диодным в сочетании с усилителем, несмотря на большое сходство, имеется и существенное различие, правильно изложенное автором книги в комментариях к двенадцатой беседе. *Прим. ред.*

Н. — О, я и впредь готов объяснять все проблемы радиотехники.

Л. — Не будь столь дерзким, мой дорогой Незнайкин, иначе я не покажу тебе настоящую схему сеточного детектирования.

Н. — Значит, она отличается от моей?

Л. — По существу нет. Но для более удобного монтажа следует поменять местами колебательный контур с резистором R_1



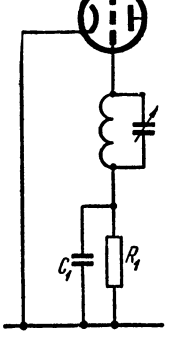


Рис. 62. Схема сеточного детектирования с последовательным сопротивлением.

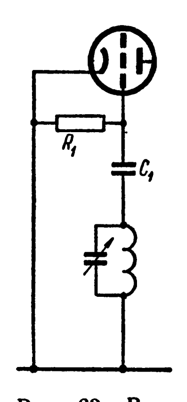


Рис. 63. Варианты схемы сеточного детектирования с последовательным сопротивлением.

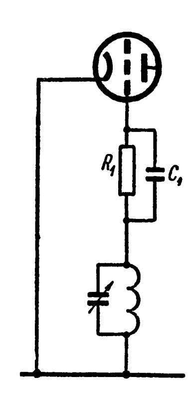


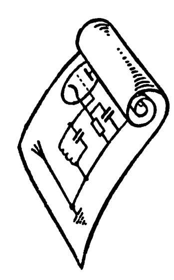
Рис. 64. Схема сеточного детектирования с параллельным сопротивлением.

и конденсатором C_1 (рис. 63), что принципиально ничего не меняет.

Впрочем, еще лучше соединить сетку с катодом при помощи резистора R_1 непосредственно, как это показано на рис. 64, а не через колебательный контур.

Но что за каракули ты там царапаешь?

СХЕМА НЕЗНАЙКИНА



Н. — Воодушевленный твоими комплиментами, я нарисовал схему пятилампового приемника (рис. 65). Как видишь, она имеет два каскада усиления высокой частоты (*УВЧ*$_1$ и *УВЧ*$_2$). Связь между двумя первыми лампами осуществляется при помощи колебательного контура L_3C' и конденсатора связи C_2. Между второй усилительной лампой высокой частоты и диодом *Д* связь установлена при помощи трансформатора L_4L_5, вторичная обмотка которого настраивается конденсатором C''. Продетектированное и выделенное на резисторе R_4 напряжение через конденсатор C_5 подано на сетку первой лампы усилителя низкой частоты (*УНЧ*$_1$); низкая частота через трансформатор *Тр* действует на последнюю лампу (*УНЧ*$_2$), в анодную цепь которой включен громкоговоритель *Гр*.

Правильна ли моя схема?

Л. — О, конечно, она совершенно правильна, но если ты сделаешь приемник по этой схеме, не исключена возможность, что он будет плохо работать.

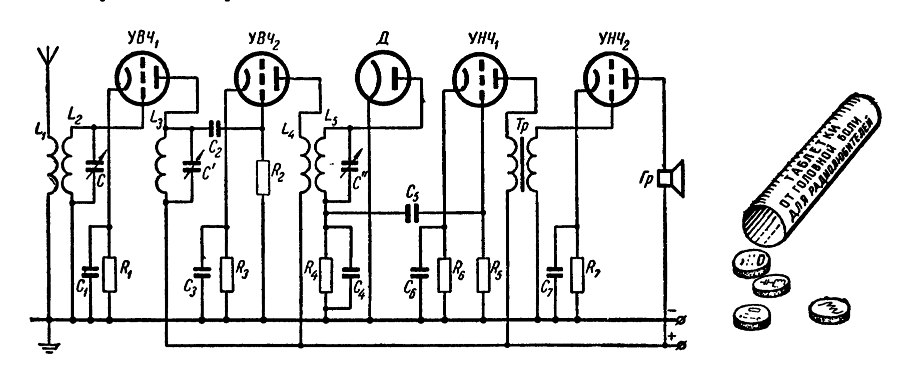


Рис. 65. Схема Незнайкина.

R_1, R_3, R_6 и R_7 — резисторы смещения; C_1, C_3, C_6 и C_7 — конденсаторы блокировки; R_2 и R_5 — резисторы утечки сетки.

Н. — Но почему же?

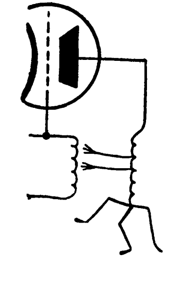
Л. — Потому что в этой схеме имеются элементы, которые в ней не отражены, но которые от этого не менее вредны.

Н. — От этого может разболеться голова.

БЕСЕДА ТРИНАДЦАТАЯ

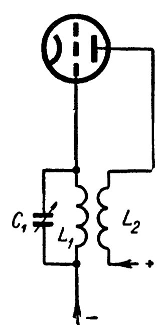
В этой беседе рассматривается обратная связь, которая в зависимости от ее действия может либо улучшить, либо ухудшить работу радиоприемника. Из различных способов регулировки обратной связи Любознайкин объясняет только основные. Незнайкин рад познакомиться, наконец, с некоторыми многосеточными лампами: лампой с экранирующей сеткой и лампой с тремя сетками — пентодом. Хотите ли Вы следовать за ним по этому пути!..

ОБ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ



Незнайкин. — Можно подумать, что я принимаю то горячий, то холодный душ. Ты то превозносишь меня, то твоя ирония разбивает самые прекрасные порывы моей творческой радиотехнической мысли...

Любознайкин. — Не будь высокопарен, Незнайкин, и скажи, в чем я несправедлив по отношению к тебе.



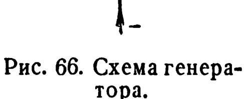


Рис. 66. Схема генератора.

L_1 — катушка в цепи сетки; L_2 — катушка в цепи анода.

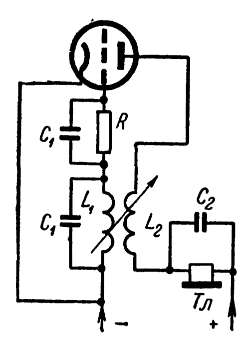
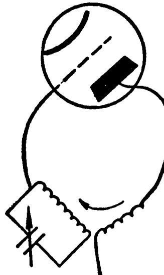


Рис. 67. Регенеративный приемник с обратной связью, регулируемой изменением связи между катушками L_1 и L_2.



Н. — Прошлый раз я, правда не без труда, начертил схему великолепного радиоприемника. Проверив ее, ты меня похвалил, а потом вдруг холодно заявил, что «вследствие элементов, которые не видны на бумаге, но которые тем не менее существуют, этот радиоприемник не будет работать». Это неясно и... обидно.

Л. — Успокойся, дружище. Я хотел только коснуться существования паразитных связей, которые неминуемо нарушат работу твоей схемы. Речь идет о связях между сеточной и анодной цепями каждой лампы.

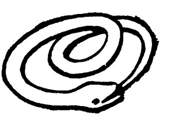
Н. — А каковы же природа и действие этих вредных связей?

Л. — Чтобы тебе это объяснить, обратимся к схеме генератора (рис. 66). Катушка анодной цепи L_2 связана с катушкой L_1, составляющей колебательный контур сетки лампы. Помнишь ли ты, что происходит в результате наличия этой связи?

Н. — Конечно: в сеточной и анодной цепях возникают колебания и генератор представляет собой настоящий маленький передатчик.

Л. — Это так, по крайней мере если степень связи между двумя катушками достаточно велика. Если же связь слаба, то колебаний не будет, но этот случай для нас также очень интересен. Ведь при этом мы будем иметь индуктивное воздействие анодной цепи на сеточную, т. е. воздействие выходной цепи на входную, которое называют о б р а т н о й с в я з ь ю или обратной реакцией.

Н. — Словом, это вроде символа мудрости древних — змеи, которая сама кусает себя за хвост.



Л. — Если тебе так нравится... Представь себе, что такая лампа с обратной связью использована в радиоприемнике как усилительная (рис. 67).

Контур L_1 C_1 служит для приема высокочастотного сигнала и на нем создается слабое напряжение, которое должно быть усилено. При этом через катушку L_2 будут проходить усиленные токи анодной цепи, которые в свою очередь наведут напряжение на сеточной катушке L_1. Если катушка обратной связи L_2 расположена надлежащим образом по отношению к катушке L_1, то напряжение, наведенное на катушке L_1 катушкой L_2, усилит первоначально существовавшее на сеточной катушке напряжение.

Н. — Таким образом, воздействие анодной катушки L_2 на катушку контура, если я правильно понял, усилит колебания в катушке L_1. Но в этом случае эти усиленные колебания будут опять усилены лампой и вызовут в катушке обратной связи L_2 еще более сильный ток. Этот ток благодаря индукции еще больше усилит колебания в сеточной катушке и т. д. Значит, усиление будет возрастать бесконечно?!

Л. — Не волнуйся, дорогой, при увеличении амплитуды колебаний в цепи сетки одновременно увеличиваются и потери (обусловленные активным сопротивлением и другими причинами), которые, наконец, полностью компенсируют мощность, вносимую из цепи анода. Тем не менее усиление, обусловленное наличием обратной связи, очень значительно, особенно если связь настолько велика, что лампа находится на грани возникновения колебаний или, как говорят, на грани самовозбуждения.

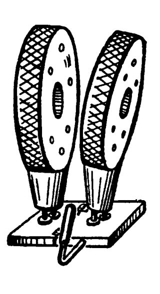


КАК РЕГУЛИРОВАТЬ ВЕЛИЧИНУ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

Н. — Обратная связь напоминает мне укусы комаров.

Л. — Признаюсь, не вижу связи с комарами.

Н. — Однако это ясно. Когда тебя укусит комар, ты трешь укушенное место, чтобы успокоить зуд, который от этого только возрастает. Тогда ты начинаешь скрести себя с еще бо́льшим ожесточением, отчего укушенное место чешется еще больше... После этого ты теряешь всякую осторожность..., и в результате все заканчивается кровопролитием...



Точно так же слабые колебания в сеточной цепи усиливаются в результате индукции действием усиленного анодного тока. При этом ток в анодной цепи усиливается еще больше, а последний в свою очередь еще больше усиливает колебания в сеточной цепи. Но, однако, это не кончается кровопролитием, потому что потери в сеточной цепи ограничивают усиление; так должен был бы поступать наш разум при укусе комара.

Л. — Оставим комаров и вернемся к предмету нашего разговора. Я тебе уже сказал, что действие обратной связи наиболее эффективно, когда связь между анодной и сеточной цепями поддерживает лампу на пороге самовозбуждения.

Н. — Мне кажется, что этого очень легко добиться. Нужно только раз и навсегда установить катушки L_1 и L_2 на таком расстоянии, при котором обратная связь не вызывает возникновения колебаний.

Л. — Но эта связь, удовлетворительная для частоты одной какой-нибудь станции, может оказаться негодной для другой. Ты забыл, что индукция зависит от частоты тока, увеличиваясь с частотой. Таким образом, обратная связь, которая будет оптимальной при приеме данной станции, будет слишком большой при приеме более высоких частот и недостаточной при приеме более низких частот.

Н. — Это опять становится дьявольски сложным, и я не вижу средства урегулировать эти противоречия.

Л. — Однако это очень просто! Достаточно сделать обратную связь переменной путем, например, изменения положения катушки обратной связи L_2 относительно сеточной катушки L_1, как это показано на рис. 67. Здесь изображена схема детекторной лампы с обратной связью (так называемого регенеративного приемника или регенератора), которая была усладой всех радиолюбителей в 1925 и ближайших к нему годах.

Лампа работает в режиме так называемого сеточного детектирования и содержит в анодной цепи катушку L_2, подвижную относительно катушки L_1 (на что указывает стрелка, пересекающая эти две катушки).

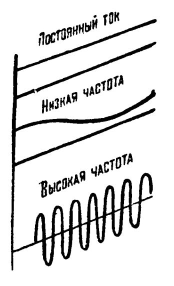
Н. — Я не думаю, чтобы такой способ перемещения катушки был достаточно удобен.

Л. — Это было, однако, очень увлекательным спортом. Но, конечно, были найдены и более практичные способы для регулировки обратной связи. Так, например, оказалось очень целесообразным применять для регулировки обратной связи конденсатор переменной емкости.

Н. — Признаюсь, я не представляю себе такой возможности.

КОНДЕНСАТОР В РОЛИ ВОДОПРОВОДНОГО КРАНА

Л. — Видишь ли, дружище, анодный ток регенератора состоит из трех различных составляющих. Прежде всего имеется постоянная составляющая. Затем имеется составляющая низкой звуковой частоты, полученная в результате детектирования. Наконец, имеется составляющая высокой частоты, образованная односторонними импульсами высокочастотного тока, накопление которых образует низкочастотную составляющую.

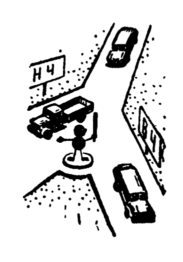


Именно эта составляющая высокой частоты и производит эффект обратной связи. Но для этого ее лучше отделить от двух других составляющих...

Н. — Каким же образом?

Л. — Вот схема (рис. 68), которая заставит анодный ток идти по двум различным дорогам. Одна дорога, обозначенная *ВЧ*, идет через конденсатор C_2 малой емкости, который, как известно, не пропустит ни постоянный ток, ни переменную составляющую низкой частоты. Зато составляющая высокой частоты более или менее легко в зависимости от величины емкости C_2 пройдет через конденсатор и по праву целиком займет эту дорогу.

Н. — Вот здорово, я понял! Конденсатор переменной емкости C_2 действует по высокой частоте, как кран, который можно открыть больше или меньше. С помощью этого конденсатора мы регулируем доступ высокочастотного тока в катушку L_2 и, следовательно, таким образом можем изменять обратную связь.



Но почему составляющая высокой частоты не пошла с такой же легкостью по второй дороге, которую ты обозначил *НЧ*?

Л. — Потому что на этом пути мы установили дроссель *Др*, т. е. катушку с большой индуктивностью. Эта катушка, как ты знаешь, будет представлять для тока тем большее индуктивное сопротивление, чем выше частота. Если постоянный ток и переменная составляющая низкой частоты легко пройдут через дроссель, то для высокой частоты он представит непреодолимое препятствие.

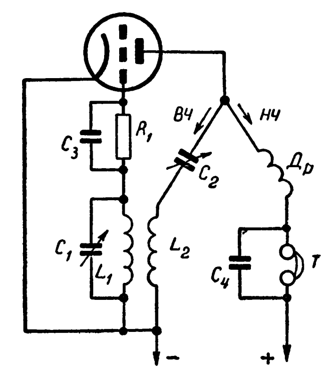


Рис. 68. Регулировка обратной связи с помощью конденсатора переменной емкости C_2.

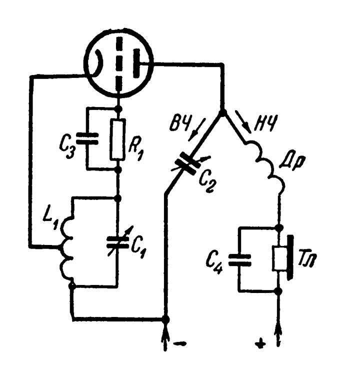
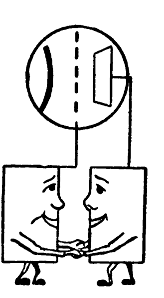


Рис. 69. Схема Хартли. Путь высокой частоты отмечен жирной линией.

Н. — Это очень остроумное новое применение старого принципа: divide et impera *.

Л. — Браво, ты даже знаешь эту латинскую поговорку. Есть действительно остроумная схема (рис. 69), которая представляет собой вариант схемы регенератора, названный схемой Хартли, в честь американского радиолюбителя, который, впрочем, клянется, что никогда ее не изобретал.

В этой схеме одна и та же катушка L_1 служит и для настройки сеточной цепи и для осуществления обратной связи. Особенностью этой катушки является то, что она имеет отвод и вместе с конденсатором переменной емкости C_1 образует сеточный контур. Через ее нижнюю часть проходит также высокочастотная составляющая анодного тока, и конденсатор C_2 служит для регулировки величины этой составляющей таким же образом, как и в предыдущей схеме.



Н. — Это очень хорошо, и если бы эту схему назвали схемой Незнайкина, я бы не протестовал, как это сделал мой американский коллега.

Однако, приняв все во внимание, я пока не понимаю, почему принцип обратной связи может вредно отразиться на работе предложенной мною схемы, которую мы рассматривали в прошлой беседе?

---

* Разделяй и властвуй.

Л. — Сейчас ты это поймешь. Взаимодействия между анодными и сеточными цепями могут существовать в радиоприемнике независимо от нашего желания и, будучи бесконтрольными, становятся вредными и опасными.

Н. — Признаюсь, мне опять неясно, как могут образовываться опасные связи между сеточными и анодными цепями и почему они обязательно должны быть вредными?

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ — ЛУЧШАЯ И ХУДШАЯ ИЗ ВЕЩЕЙ

Л. — Неучтенные связи между сеточными и анодными цепями могут создать обратную связь, способствующую возбуждению самопроизвольных вредных колебаний, которые техники называют паразитными колебаниями. Лампа при этом работает в качестве генератора, а не усилителя.

Паразитные связи могут быть разного рода. Допустим, что усилительная лампа имеет один колебательный контур L_1C_1 в цепи сетки, а другой контур L_2C_2 в цепи анода (рис. 70). Ка-

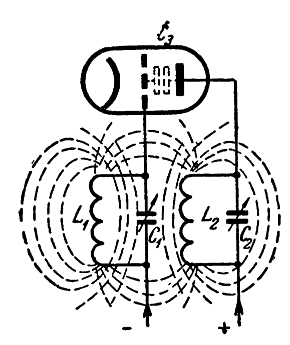


Рис. 70. Паразитные связи путем индукции (магнитные поля катушек изображены пунктиром) и через емкость C_3 между сеткой и анодом лампы.

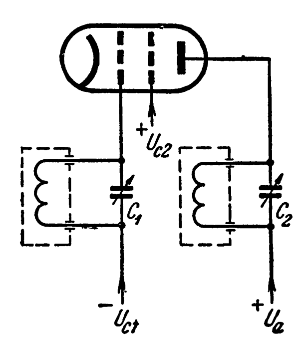
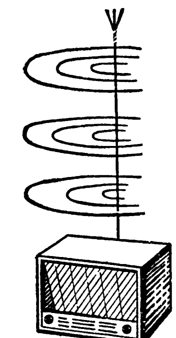


Рис. 71. Устранение паразитной связи путем экранирования катушек и введения экранирующей сетки.

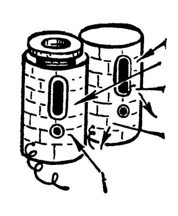


ждая из катушек L_1 и L_2, несмотря на расстояние между ними, находится в магнитном поле другой катушки, и катушка L_2 связана индуктивно с катушкой L_1.

Помимо индуктивной связи, может образоваться и другой вид связи — емкостный. Емкостная связь образуется между соседними проводниками и деталями сеточных и анодных цепей за счет имеющейся между этими цепями паразитной емкости.

Н. — В таком случае надо постараться удалить друг от друга сеточные и анодные цепи, чтобы таким образом уменьшить до минимума образующуюся между ними паразитную емкость.

Л. — К этому и стремятся. Но тем не менее остается еще некая паразитная емкость, от которой раньше не могли никак избавиться и которая в течение долгих лет определяла направление развития приемно-усилительной техники.



Н. — Так что же это за несносная емкость?

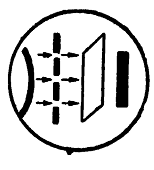
Л. — Это очень маленькая емкость, которая образуется внутри лампы между сеточным и анодным электродами (емкость C_3 на рис. 70).

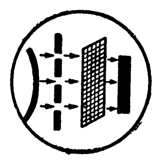
Обратная связь, возникающая через эту емкость между сеточными и анодными цепями, достаточна для того, чтобы нарушить стабильную работу усилителя высокой частоты, как только число каскадов в нем станет больше одного.

Н. — Я бы считал, что создавшееся положение ужасно, если бы не знал твою привычку нагромождать препятствия для того, чтобы потом их уничтожить легким дуновением. Каков же выход из положения?

Л. — Их три: экранирование, экранирование и еще раз экранирование. Каждая группа катушек помещается в металлические стаканчики — экраны, которые препятствуют распространению магнитного поля и, следовательно, образованию индуктивной связи между катушками. Мы применим экранирование также и внутри лампы (рис. 71), чтобы свести к нулю емкость между сеткой и анодом.

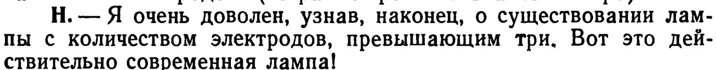
ЭКРАНИРОВАНИЕ СЕТКИ ОТ АНОДА





Н. — Подожди-ка. Если поместить экран между сеткой и анодом, он загородит проход электронам и анодный ток прекратится.

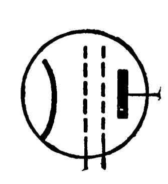
Л. — Это неверно. Экран внутри лампы имеет большое число отверстий, через которые и будут проходить электроны, тем более что на экран подается положительное напряжение, равное приблизительно половине анодного напряжения. При этом экран ускорит движение электронов к аноду, добавляя свое действие притяжения к притяжению анода. Очень часто этот экран изготавливается в виде проволочной спиральки и называется *экранирующей сеткой*, а сама лампа называется лампой с экранирующей сеткой или сокращенно *экранированной лампой*. Учитывая, что она имеет четыре электрода, ее называют также тетродом (тетра по-гречески значит четыре).



Н. — Я очень доволен, узнав, наконец, о существовании лампы с количеством электродов, превышающим три. Вот это действительно современная лампа!

Л. — Не совсем так, она имеет в действительности недостаток, для устранения которого пришлось ввести в нее еще один электрод. Чтобы понять, для чего это пришлось сделать, проследим еще раз, как работает лампа.

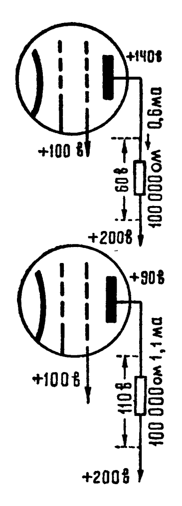
Когда на управляющей сетке появляется переменное напряжение, ток в анодной цепи начинает изменяться. Изменение тока вызывает на включенном в анодной цепи сопротивлении падение напряжения, которое изменяется пропорционально величине тока. Это приводит к тому, что и анодное напряжение, существующее между анодом и катодом, также не остается постоянным, а становится тем меньше, чем больше падение напряжения на сопротивлении в анодной цепи...



Н. — Подожди, мне будет понятнее, если ты приведешь числовой пример.

Л. — Пожалуйста. Допустим, что источник высокого напряжения дает 200 *в*. Это напряжение приложено между катодом и сопротивлением в анодной цепи (при этом маленькой величиной падения напряжения на сопротивлении смещения пренебрежем). Пусть для простоты расчетов анодное сопротивление имеет 100 000 *ом*, а анодный ток в состоянии покоя составляет 0,6 *ма*.

В этих условиях падение напряжения на сопротивлении будет равно 60 *в*, а следовательно, между анодом и катодом будет уже не 200, а только 140 *в*. Условимся также, что напряжение на экранирующей сетке будет равно 100 *в*. Если теперь к управляющей сетке будет приложено такое переменное напряжение, при котором анодный ток будет изменяться от 0,1 до 1,1 *ма*, то падение напряжения на сопротивлении будет изменяться от 10 до 110 *в*. При этом фактическое напряжение на аноде по отношению к катоду будет в свою очередь изменяться от 90 до 190 *в*. Из этого примера видно, что напряжение на аноде в некоторые моменты может быть ниже, чем напряжение на экранирующей сетке...



Я вижу, что это не производит на тебя никакого впечатления...

Н. — Действительно нет. Но почему все это должно меня беспокоить?

ВТОРИЧНАЯ ЭМИССИЯ

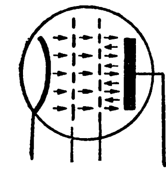
Л. — Из-за своего невежества ты спокойно идешь по краю пропасти. Подумай хорошенько о тех явлениях, которые при этом будут происходить, и ты поймешь, какая неприятность подстерегает нас.

Испускаемые катодом электроны после управляющей сетки на пути к аноду попадают в сферу действия экранирующей сетки. Благодаря высокому положительному напряжению экранирующая сетка сообщает электронам дополнительную скорость, в результате чего последние пролетают через нее с огромной скоростью и, как снаряды, ударяются о поверхность анода. При этом каждый электрон выбивает из материала анода один или несколько электронов подобно тому, как образуется поток брызг при падении пловца в воду.

Эти электроны ведут себя, как и полагается всем электронам, т. е. они притягиваются к наиболее положительному электроду. Нормально таким электродом бывает анод, и выбитые электроны возвращаются в свое жилище, т. е. на анод, ничем не нарушая работы лампы. Но когда более положительной, хотя бы на короткие промежутки времени, станет экранирующая сетка, выбитые из анода электроны устремятся именно к ней.

Н. — Потрясающе!.. Значит, появится ток, который пойдет от анода к экранирующей сетке, а анод в этом случае будет служить вторичным катодом по отношению к экранирующей сетке.

Л. — Безусловно. Это явление называется *вторичной эмиссией*. И так как ток от анода к экранирующей сетке идет навстречу анодному току, последний уменьшается и искажается.



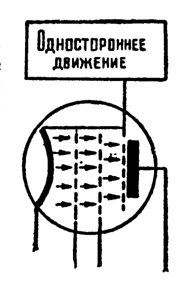
Н. — Вот мы и снова перед препятствием. Прошу тебя, дунь опять.

Л. — Это нетрудно. Чтобы уничтожить вторичную эмиссию, надо поставить между анодом и экранирующей сеткой еще одну — третью — *защитную* или антидинатронную сетку.

Защитная сетка представляет собой очень редкую спираль, которая находится под потенциалом катода и соединяется с ним иногда даже внутри лампы. Она препятствует удалению вторичных электронов от анода.

Н. — Ну, что же, я рад познакомиться с лампой, имеющей уже пять электродов, которую можно назвать, если меня не обманывают мои познания в греческом языке, *пентодом*.

Л. — Это так. Таким образом, ты можешь заметить, что пентод является усовершенствованием тетрода и что эта лампа была создана для устранения вредного действия вторичной эмиссии. Вот как выглядит схема усилительного каскада на пентоде (рис. 72). Резисторы R_2 и R_3, находящиеся между полюсами источника высокого напряжения, служат для установления на-



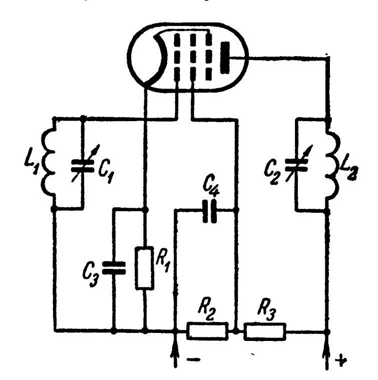


Рис. 72. Схема усилителя высокой частоты на пентоде.

R_1C_3 — цепь сеточного смещения; $R_2R_3C_4$ — цепь питания экранирующей сетки.

пряжения на экранирующей сетке, приблизительно равного половине анодного напряжения. Конденсатор C_4 служит для того, чтобы пропускать слабый ток высокой частоты, образующийся в цепи экранирующей сетки попадающими на нее электронами.

Н. — Я надеюсь, что экраны, тетроды и пентоды окончательно помогут разрешить проблему паразитных связей.

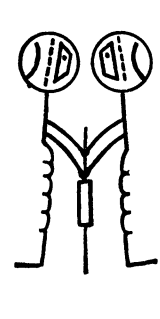
Л. — Напрасные надежды, Незнайкин!



БЕСЕДА ЧЕТЫРНАДЦАТАЯ

Чем меньше цепи какой-либо лампы связаны с цепями соседних ламп, тем лучше работает радиоприемник. Такой вывод сделали наши друзья после изучения паразитных связей. Помимо рекомендованного ранее экранирования, они рассматривают также возможность применения развязывающих цепей для устранения паразитных связей. Переходя к изучению практической схемы, Любознайкин сообщает интересные сведения о способах переключения настраиваемых контуров.

ЗАПУТАННЫЕ СВЯЗИ



Любознайкин. — До сих пор мы говорили только об индуктивной и емкостной связях, но существуют также связи за счет общих элементов, которыми могут оказаться активные и реактивные сопротивления.

Незнайкин. — Я не вижу, где же прячутся эти «общие» сопротивления?

Л. — Вот смотри. На рис. 73 схематически изображен трехкаскадный усилитель высокой частоты.

Для большей ясности на схеме нарисованы только анодные цепи, в которых протекают токи I_1, I_2 и I_3 ламп $Л_1$, $Л_2$ и $Л_3$,

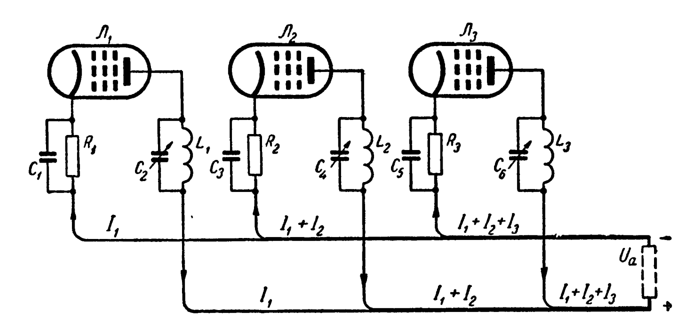
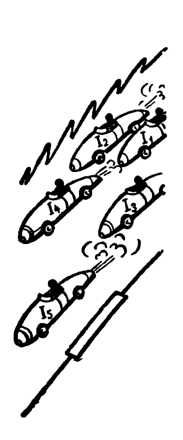


Рис. 73. В этой схеме анодные токи различных ламп идут по общим путям. Источник высокого (анодного) напряжения $U_а$ условно изображен, как сопротивление.

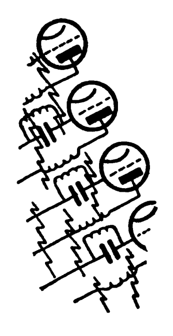


соответственно. Цепи управляющих экранирующих сеток опущены. Проследим теперь с карандашом в руке пути электронных потоков ламп.

Ты видишь, что ток I_1 от катода лампы $Л_1$ проходит через контур L_1 C_2, потом через участок провода, обозначенный I_1, далее через источник высокого напряжения и по «минусовому» проводу возвращается через R_1 (резистор смещения) на катод. Теперь проследи таким же образом за анодным током второй лампы I_2. Что ты видишь?

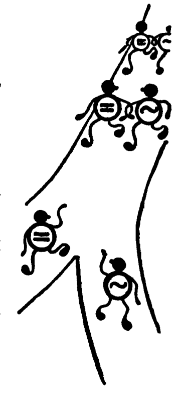
Н. — Действительно, ток I_2 часть своего пути проходит по тем же участкам цепи, что и ток I_1, а также через источник вы-

сокого напряжения. То же происходит и с током I_3, проходящим через источник высокого напряжения и участки $I_1 + I_2 + I_3$, по которым протекают одновременно три тока. Вот где возникает мешанина и путаница токов!



Л. — Если бы источник высокого напряжения и соединительные цепи не имели сопротивления, можно было бы не бояться никакой мешанины. Но, к несчастью, это не так: каждый из токов вызывает на сопротивлениях общих участков падение напряжения. Постоянные составляющие не представляют никакой опасности. Но напряжения переменных составляющих, образующиеся на общих участках сопротивлений, попадают в другие цепи, в результате чего падение напряжения от переменной составляющей тока I_1 будет приложено между катодом и анодом ламп $Л_2$ и $Л_3$. То же будет и с напряжениями от токов I_2 и I_3.

Н. — Вот теперь я вижу, в чем состоит опасность рассмотренного вида паразитной связи. Из-за нее все лампы оказываются связанными и колебания тока каждой из них тотчас же отражаются на напряжениях на электродах других ламп. Это, конечно, приведет к очень неприятным явлениям.

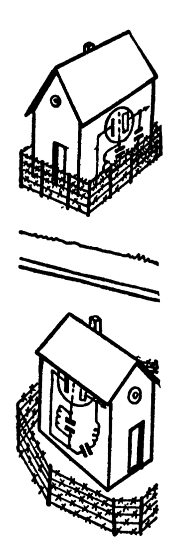


Л. — Совершенно очевидно. Если напряжение, образованное токами других ламп, действует навстречу колебаниям, приложенным к сетке одной из них, то происходит уменьшение усиления. Однако очень часто в результате этой связи происходит сложение напряжений, вызванных токами других ламп, и усиливаемого первой лампой напряжения, в результате чего возникают самопроизвольные паразитные колебания.

Н. — Но ведь должно же быть средство изолировать одну лампу от другой?

Л. — Да. Этим средством является р а з в я з ы в а ю щ а я ц е п ь или сокращенно «развязка». Она не дает переменным составляющим анодных токов путешествовать по всем цепям приемника: по общим участкам и через источник высокого напряжения.

«ТРИУМФ НЕЗАВИСИМОСТИ»



Н. — Я полагаю, что сначала надо отделить переменную составляющую.

Л. — Так и делают. Как только анодный ток, например лампы $Л_1$ (рис. 74), прошел через анодную нагрузку, в данном случае контур L_1C_1, из него выделяют высокочастотную переменную составляющую, создавая для нее ответвление через конденсатор C_5, подобно тому, как и при регулировке обратной связи конденсатором переменной емкости. Переменная составляющая попадает сразу на катод через конденсатор C_5, который одновременно преграждает путь постоянной составляющей, возвращающейся на катод через резистор R_2, источник высокого напряжения и резистор смещения R_1. Таким образом, путь переменной составляющей, показанный на рис. 74 жирной линией, ограничен цепью катод — анод данной лампы, и ее переменная составляющая нигде не встречается с аналогичной составляющей других ламп.

Н. — Словом, если я хорошо понял, развязка дает возможность лампе сохранить полную независимость.

Л. — Совершенно верно. Заметь также, что развязка, сокращая пути переменных составляющих, одновременно уменьшает опасность паразитных индуктивных наводок.

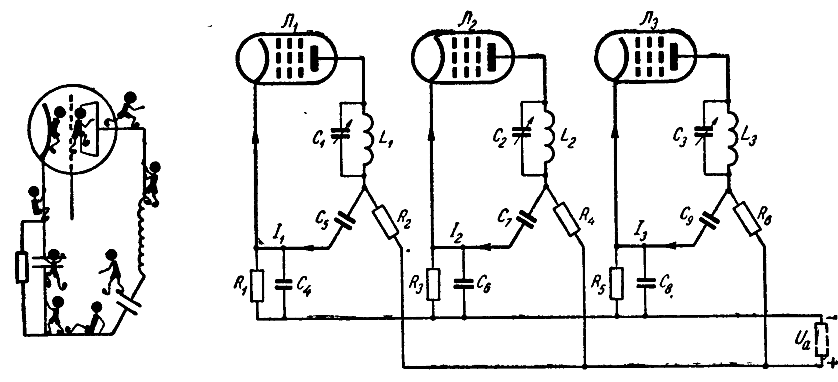


Рис. 74. Благодаря применению развязки переменные составляющие тока каждой лампы замыкаются через отдельные цепи, показанные жирными линиями.

Теперь можно изобразить (рис. 75) полную схему одного каскада усиления высокой частоты современного радиоприемника. Это точно такая же схема, как и на рис. 74.

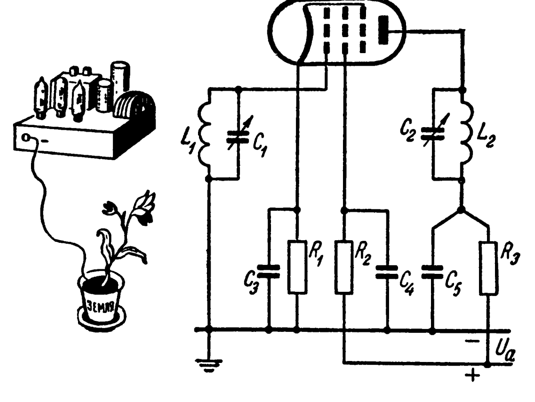
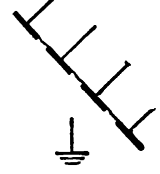


Рис. 75. Схема каскада усиления высокой частоты на пентоде с цепями развязки.

Н. — А мне кажется, что она не совсем такая. Ведь на рис. 74 конденсаторы развязки C_5, C_7 и C_9 присоединены непосредственно к катодам соответствующих ламп, а на рис. 75 конденсатор развязки C_5 присоединен к минусу источника высокого напряжения.

Л. — Ты прав. Теоретически такое включение менее действенно, так как переменная составляющая анодного тока вместо того, чтобы возвратиться на катод через конденсатор C_5, должна, кроме того, пройти через конденсатор C_3, что для высокочастотной составляющей несколько более утомительно. Однако практически эта схема имеет некоторые преимущества.



Ты, конечно, уже заметил, что большинство соединений в схеме радиоприемника оканчивается у отрицательного полюса источника высокого напряжения. Чтобы отрицательный полюс находился на возможно кратчайшем расстоянии от различных элементов, которые должны быть к нему присоединены, прокладывают общую шину из более толстого проводника, идущую от минуса высокого напряжения через весь приемник. Или, что встречается чаще, но менее желательно, в качестве этого провода используется металлический корпус (шасси), на котором монтируется приемник. В данном случае корпус служит также и минусом высокого напряжения. И тогда вместо того, чтобы сказать, что соединение заканчивается у минуса высокого напряжения, говорят, что соединение производится н а к о р п у с.

ОТ СКЕЛЕТНОЙ СХЕМЫ К ПОЛНОЙ СХЕМЕ

Н. — Словом, я понял: конденсаторы развязки гораздо легче присоединить к корпусу, чем тянуть их выводы к катоду.

Л. — Да, это так. Обычно корпус обозначают символом, похожим на символ заземления, так что вместо того, чтобы рисовать общую шину минуса высокого напряжения, знаки корпуса рисуют непосредственно в тех местах, где это требуется по схеме. По этому принципу схема на рис. 75 будет иметь вид, показанный на рис. 76. Но запомни хорошенько, что когда ты видишь на схеме много знаков корпуса, в действительности это только одно единственное соединение, ведущее к отрицательному полюсу высокого напряжения.

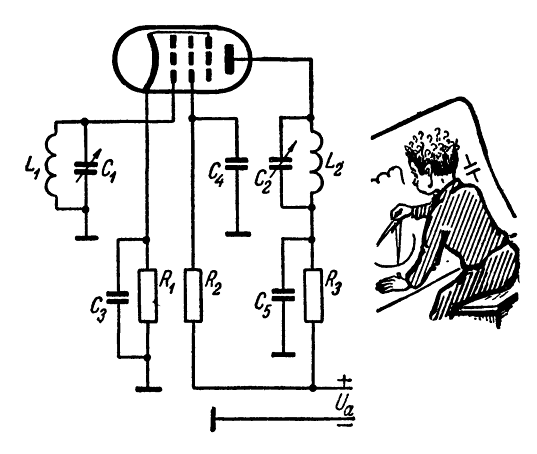
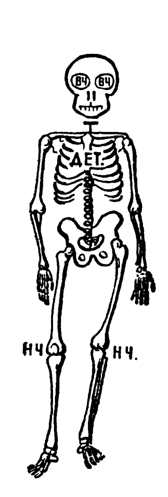


Рис. 76. Та же схема, что и на рис. 75, но нарисованная с применением символа заземления.

Н. — Но теперь-то знаю ли я, наконец, обо всех скрытых опасностях в схемах радиоприемников и могу ли я сам составить схему, по которой можно было бы собрать действующий приемник?

Л. — Да, я думаю, что теперь ты знаешь примерно все, что необходимо для этого. Вернемся к схеме, которую ты по неве-



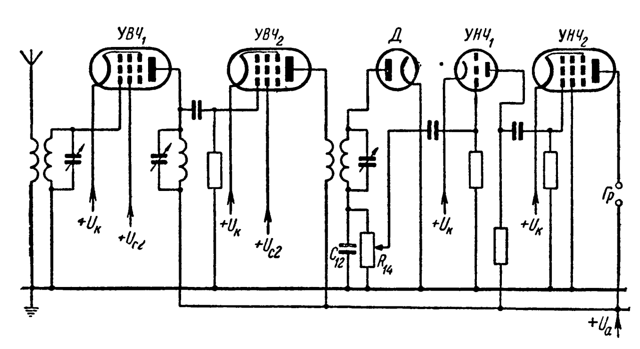


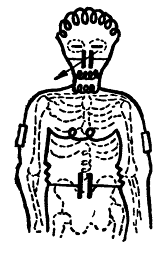
Рис. 77. Упрощенная схема приемника с двумя каскадами усиления высокой частоты.

дению начертил во время нашей двенадцатой беседы, и попробуем придать ей практически осуществимый вид. Вначале нарисуем ее в упрощенном виде — это прекрасный метод (рис. 77).

Н. — Я надеюсь, что в обоих высокочастотных каскадах ты используешь пентоды.

Л. — Ты можешь в этом убедиться сам, посмотрев на рисунок. Но я пойду дальше, используя пентод также и во втором каскаде низкой частоты. В настоящее время охотно используют

пентоды для этой цели. Ты видишь, что в этой схеме представлены только основные цепи связи между лампами. Элементы же развязки, а также резисторы для получения напряжения смещения и резисторы в цепях экранирующих сеток в упрощенную схему не включают.



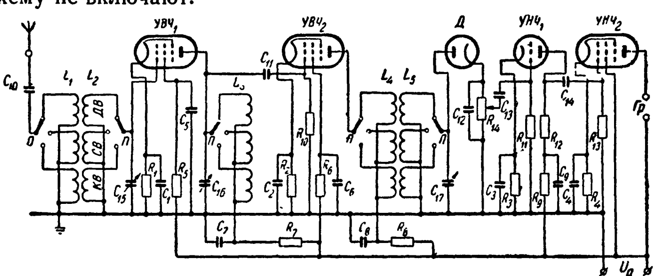
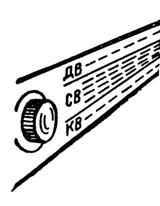


Рис. 78. Окончательная схема приемника.

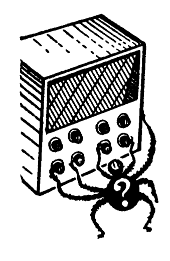


Н. — Словом, ты изобразил «скелет» схемы с двумя каскадами усиления высокой частоты ($УВЧ_1$ и $УВЧ_2$), диодным детектором (*Д*) и двумя каскадами низкой частоты ($УНЧ_1$ и $УНЧ_2$). Можешь ли ты теперь нарастить на этот скелет тело и кожу и составить таким образом целый организм?

Л. — Это нетрудно. Вот полная схема (рис. 78). Кроме других особенностей, прежде всего отметь резисторы для смещения R_1, R_2, R_6 и R_4; резисторы, задающие напряжения на экранирующих сетках, R_5 и R_6; резисторы развязки R_7, R_8 и R_9, а также блокировочные конденсаторы под теми же номерами.

Н. — Подожди... Меня очень интригует другая вещь: это катушки L_1, L_2, L_3, L_4 и L_5, которые как бы состоят из трех частей.

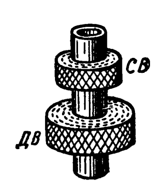
ВОЛНА ВОЛНЕ РОЗНЬ



Л. — Это требует объяснения. Ты знаешь, что во всем мире имеется очень большое число радиовещательных передатчиков. Длины волн в радиовещании распределены в трех основных диапазонах. Это длинные волны (ДВ) от 1 000 до 2 000 *м*, средние волны (СВ) от 200 до 600 *м* и короткие волны (КВ) от 10 до 50 *м*.

Каждому из этих диапазонов соответствует одна из трех обмоток, образующих катушку. Любую из них можно включить в контур с помощью п е р е к л ю ч а т е л я *П*.

Н. — Но в таком случае для перехода с диапазона на диапазон нужно одновременно изменить положение пяти переключателей. Требуется ли для быстрого переключения иметь, подобно пауку, большое число лап?



Л. — О нет, не волнуйся, Незнайкин. Все контакты переключаются одновременно с помощью одной ручки управления.

Н. — К счастью, в нашем приемнике имеются лишь три диапазона. Иначе это было бы дьявольски сложно.

Л. — В действительности передачи ведут и на других волнах. Однако и в этих трех диапазонах нужно по крайней мере пять катушек, чтобы перекрыть весь интервал от 10 до 2 000 *м* с помощью конденсатора переменной емкости 500 *пф*. Поэтому приходится применять переключатель на пять положений (рис. 79).

Н. — Я снова смотрю на схему приемника (рис. 78) и не могу понять странный способ включения конденсатора C_7. Повидимому, этот конденсатор совместно с резистором R_7 служит для развязки анодной цепи первой лампы. Но почему он входит в цепь контура L_3C_{16}?!

Л. — По очень простой причине. В современных конденсаторах переменной емкости подвижные пластины связаны с металлическим корпусом конденсатора(изолированы только неподвижные пластины). В свою очередь корпус конденсатора укреплен на металлическом шасси, которое, как известно, связано с отрицательным полюсом источника высокого напряжения.

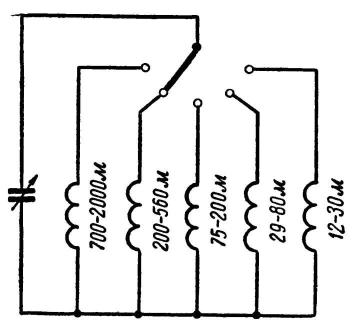


Рис. 79. Схема переключения пяти диапазонов.

Подвижные пластины конденсатора C_{16} должны быть обязательно соединены с минусом источника питания. В то же время катушка L_3 через резистор R_7 соединена с полюсом. Следовательно, конденсатор C_{16} надо отделить от катушки L_3 по постоянному напряжению, не разрывая, однако, колебательный контур по высокой частоте. Это легко достигается применением конденсатора C_7 большой емкости. Он создает свободный путь для токов высокой частоты и препятствует замыканию высокого напряжения через резистор R_7.

На этом мы пока можем закончить нашу беседу, тем более что даже башенные часы уже пробили полночь.

ОБМАНЧИВАЯ ТЕРМИНОЛОГИЯ

Н. — Расскажи еще, к чему эта стрелка, упирающаяся в резистор R_{14}?

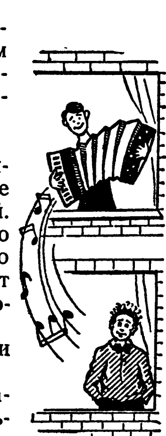
Л. — В действительности это переменный резистор, включенный потенциометром...

Н. — Это что же, прибор для измерения потенциала?

Л. — Нет, название этого термина ввело тебя в заблуждение. Потенциометр — это резистор с подвижным контактом (обозначенным стрелкой) и выводами на концах. Движок (подвижный контакт) может соединяться с любой из промежуточных точек сопротивления.

Н. — Но для чего же он здесь нужен?

Л. — На резисторе R_{14} выделяется детектированное напряжение. Иногда оно может быть очень большим, так что после усиления низкой частоты слышимость будет слишком громкой. Чтобы уменьшить громкость звука, на следующую лампу нужно подать только часть детектированного напряжения. Это и можно сделать при помощи потенциометра, движок которого может снимать любую часть напряжения, выделяющегося на всем сопротивлении потенциометра.



Таким образом, потенциометр R_{14} служит для регулировки громкости приема.

Н. — Оказывается, это действительно очень полезно. Я жалею, что мой сосед, обожающий игру на аккордеоне, не пользуется им.

БЕСЕДА ПЯТНАДЦАТАЯ

До настоящего времени Любознайкин умышленно обходил вопросы питания приемника. Он говорил об источниках тока накала и анода, не уточняя их свойств. Сегодня Незнайкин познакомится с выпрямлением и фильтрацией переменного тока. Будет рассмотрено также питание приемника от сети постоянного тока, так что вопросы питания не будут больше секретом для читателя.

ВОПРОСЫ ПИТАНИЯ

Незнайкин. — Иногда мне кажется, что я похож на путешественника в пустыне, страдающего от жажды и гоняющегося за соблазнительными миражами. Мне казалось во время нашей последней беседы, что я, наконец, имею полную и окончательную схему радиоприемника. Однако, вернувшись домой, я с огорчением констатировал, что в рассмотренной нами схеме чего-то не хватает.

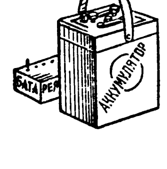


Рис. 80. Схема простейшего выпрямителя.

Любознайкин. — Чего же, мой бедный Незнайкин?

Н. — Очень существенной части — питания, которое ты просто обозначил $U_а$. Однако не приходит же это напряжение к нам с неба в виде молнии!

Л. — Ты прав, но ты всегда можешь предположить, что питание берется от батареи гальванических элементов или от аккумуляторов.



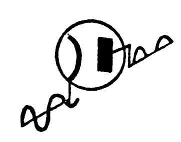
Н. — Но я вовсе не избегаю такого предположения. Я хорошо знаю, что батареи и аккумуляторы уже давно используются в маленьких портативных приемниках или в установках, предназначенных для удаленных районов, не охваченных электрификацией. Большинство же современных радиоприемников рассчитано на питание от осветительной сети. Как сообщается в рекламах: «Штепсельная розетка — и это все».

Мне не совсем понятно — ведь в большинстве мест электрические сети имеют переменный ток, однако им пользуются для питания анодных цепей ламп.



Л. — Это удается благодаря предварительному выпрямлению переменного тока. В ы п р я м и т ь переменный ток — это значит помешать ему течь в двух направлениях и заставить его течь только в одном направлении.

Н. — Словом, выпрямление — это вроде детектирования?

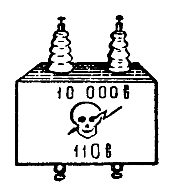


Л. — Да. Но при детектировании происходит преобразование высокочасточного модулированного сигнала в низкочастотное напряжение, тогда как в случае выпрямления мы имеем дело с током промышленной частоты 50 *гц*, и, кроме того, выпрямленный ток должен быть достаточно большой величины (несколько десятков миллиампер). Само собой разумеется, что для выпрямления используются диоды, электроды которых

больше электродов детекторного диода. Такой диод называется кенотроном.

Н. — Значит, достаточно расположить такой диод на пути тока из сети, чтобы он оказался выпрямленным, так как электроны могут идти только от катода к аноду, а не обратно.

Л. — Правильно. Кенотрон (рис. 80) может быть включен как со стороны положительного, так и отрицательного конца. Главное — это сделать так, чтобы направление движения электронов, полученное в результате работы кенотрона, соответствовало направлению их движения в лампах по дорогам, идущим от катодов к анодам.



ОПАСНО!... ВЫСОКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ!

Н. — Боюсь, что высокое напряжение, полученное таким образом, будет недостаточным. Сеть, которая имеется у нас, дает только 127 или 220 *в*. А ведь ты говорил, что некоторые лампы

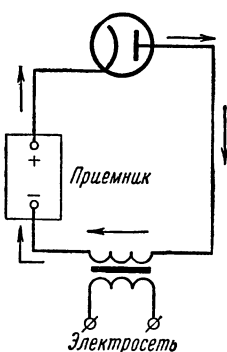


Рис. 82. Сплошной линией показаны положительные полупериоды тока, выпрямленного по схемам на рис. 80 и 81; пунктиром изображены отрицательные полупериоды, не пропущенные кенотроном.

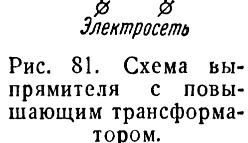


Рис. 81. Схема выпрямителя с повышающим трансформатором.

должны иметь анодное напряжение в несколько сотен вольт. Что же я сделаю с этим напряжением?..

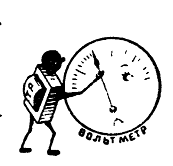
Л. — Да у тебя не будет и этого, так как на выпрямительной лампе упадет часть напряжения; ведь она тоже имеет некоторое внутреннее сопротивление.

Таким образом ты далеко не уедешь... К счастью, мы располагаем очень простым средством, позволяющим повышать в желаемом отношении напряжение переменного тока из сети.

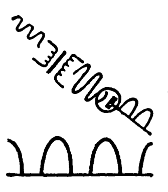
Н. — Что же это за чудесное средство?

Л. — Это наш старый знакомый — трансформатор. Допустим, что мы имеем трансформатор с одинаковым количеством витков в первичной и вторичной обмотках. Если к первичной обмотке такого трансформатора подвести некоторое напряжение, то какое же напряжение появится на концах вторичной?

Н. — Я полагаю, что такое же, так как обмотки имеют одинаковое количество витков.



Л. — Правильно. Теперь допустим, что трансформатор сделан с несколькими вторичными обмотками, например с тремя, каждая из которых имеет то же число витков, что и первичная обмотка. Подавая 127 *в* на первичную обмотку, мы получим также 127 *в* на каждой из вторичных обмоток. Соединим последовательно три вторичные обмотки так, чтобы одна являлась продолжением другой. Тогда напряжения всех обмоток сложатся



и между началом первой обмотки и концом третьей мы получим напряжение, равное 380 *в*.

Н. — При этом три вторичные обмотки являются по существу одной обмоткой. И чтобы показать, что я не забыл законов индукции, я делаю вывод что трансформатор способен повышать (или понижать) напряжение во столько раз, во сколько его вторичная обмотка имеет больше (или меньше) витков, чем первичная обмотка.

Л. — Ну, Незнайкин, я тебя поздравляю, ты ответил прямо как урок по физике и все меньше заслуживаешь свое имя.

Таким образом, мы установили, что, применяя трансформатор, можно повысить напряжение перед тем, как его выпрямить (рис. 81). В зависимости от требуемого напряжения мы выбираем необходимое соотношение числа витков первичной и вторичной обмоток, или коэффициент трансформации.

Н. — Но во всем этом есть одно обстоятельство, которое меня смущает. Каждый период переменного тока имеет два полупериода различной полярности, а для работы мы используем только один из них (рис. 82). Нет ли какого-либо устройства, которое позволило бы использовать для питания приемника также и второй полупериод переменного тока, придав ему необходимое напряжение?

МЕТОД ИСПОЛЬЗОВАНИЯ «НЕГОДНЫХ» ПОЛУПЕРИОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Л. — Да, есть, это осуществляется в так называемом двухполупериодном выпрямителе переменного тока.

Для этого мы используем два одинаковых устройства питания по схеме на рис. 81. Расположив их рядом (рис. 83), мы

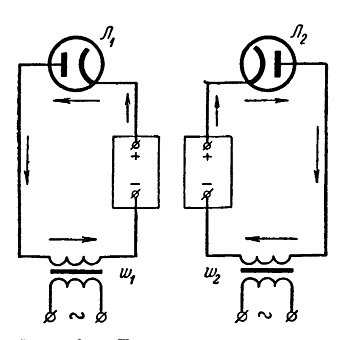


Рис. 83. Две схемы выпрямителей, аналогичные схеме, изображенной на рис. 81, причем каждая выпрямляет один из полупериодов переменного тока.

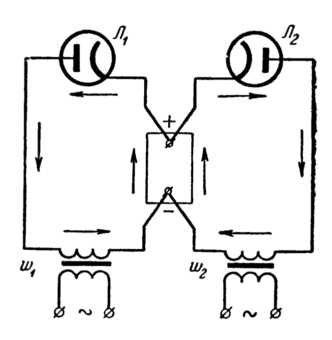
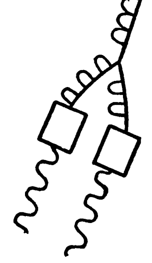


Рис. 84. Два выпрямителя по схемам на рис. 83 питают один и тот же приемник, выпрямляя оба полупериода переменного тока.

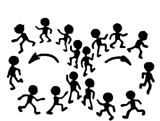


видим, что в нагрузках (т. е. в приемниках) обоих выпрямителей ток имеет одно и то же направление. Следовательно, оба выпрямителя можно использовать для питания одного приемника (рис. 84). При этом каждый из кенотронов будет выпрямлять один из двух полупериодов переменного тока. Ты легко

сможешь проследить теперь сам путь тока для каждого полупериода.

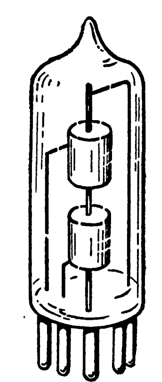
Н. — Пусть во время первого полупериода переменного тока электроны пройдут через витки вторичной обмотки w_1 слева направо. Пройдя через приемник и лампу $Л_1$, они возвратятся к обмотке w_1. Пройти через обмотку w_2 электроны не смогут, так как при этом они должны пройти через лампу $Л_2$ от анода к катоду, а это им запрещено.





В следующий полупериод электроны через обмотку w_1 не пройдут, так как они не смогут пройти через кенотрон $Л_1$ от анода к катоду. Но они свободно пройдут через обмотку w_2 (справа налево), приемник и кенотрон $Л_2$, причем направление их через приемник оказывается таким же, как и в течение первого полупериода.

Л. — Вот видишь, таким образом нам удается использовать оба полупериода переменного тока (рис. 85). Заметь теперь, что обе вторичные обмотки имеют одну общую точку. Это дает возможность заменить два трансформатора одним, во вторичной обмотке которого делается отвод от средней точки. Кроме того, можно применить специальный кенотрон, в баллоне которого помещены общий катод и два анода. Такая лампа называется двуханодным кенотроном. Схема двухтактного выпрямителя с двуханодным кенотроном показана на рис. 86.





ПРОБЛЕМЫ РАВНОВЕСИЯ

Н. — Но каким образом во всех кенотронах осуществляется нагрев нити и соответственно катода для получения электронной эмиссии?

Л. — Нить нагревается переменным током низкого напряжения (обычно от 4 до 6,3 *в*). Для этого можно использовать второй трансформатор, понижающий напряжение электросети до необходимой величины. Однако чаще всего напряжение накала получают со специальной вторичной обмотки с малым числом витков, которая наматывается на трансформаторе питания в дополнение к обмотке высокого напряжения.

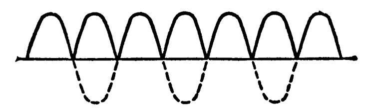


Рис. 85. Сплошной линией показана форма тока при двухполупериодном выпрямлении; пунктиром изображены полупериоды, задержанные одним выпрямителем, но выпрямленные другим.

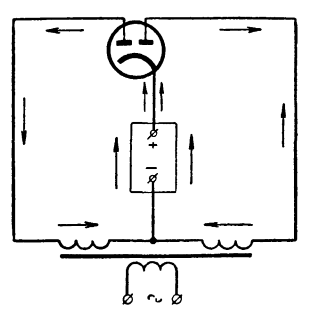
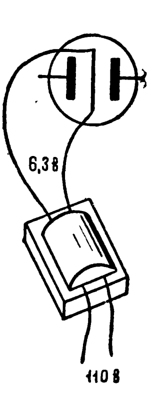


Рис. 86. Два кенотрона в схеме на рис. 84 заменены одним двуханодным кенотроном.



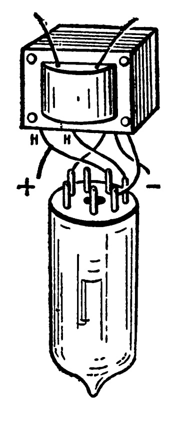
Так как кенотроны должны выпрямлять достаточно большой ток, часто используются катоды прямого накала. В этом случае нить накала сама является источником электронов.

Н. — А в этом случае катод тоже нагревают переменным током?

Л. — Конечно. Практически однополупериодные (рис. 81) и двухполупериодные (рис. 86) выпрямители имеют вид, показанный на рис. 87 и 88, соответственно.

Н. — Почему в этих схемах приемник соединен с отводом от средней точки накальной обмотки трансформатора, а не непосредственно с нитью кенотрона?

Л. — Потому, что если потенциал катода кенотрона с косвенным накалом одинаков во всех точках, то потенциал нити,



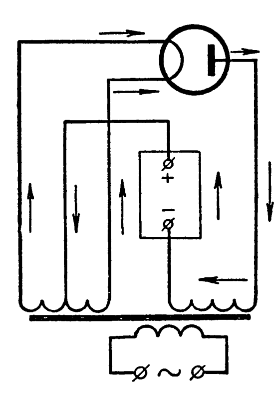


Рис. 87. Практическая схема выпрямителя, приведенного на рис. 81 (стрелками показано направление тока).

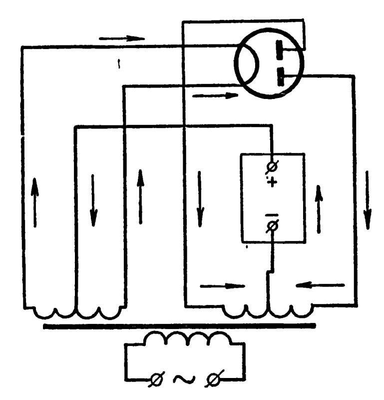
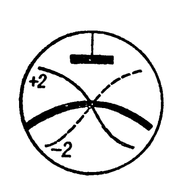


Рис. 88. Практическая схема выпрямителя, приведеннного на рис. 86 (стрелками показано направление выпрямленного тока).

через которую проходит переменный ток, в разных точках непрерывно меняется. По отношению к средней точке нити ее концы все время будут иметь, например при напряжении накала 4 *в*, то +2, то —2 *в*.



Н. — Это напоминает мне качели, которые я соорудил в раннем детстве, положив доску на треногу.

Л. — Единственной точкой, остающейся неподвижной у этих качелей, является средняя точка. Точно так же и у нити накала единственной точкой, потенциал которой остается постоянным, является средняя точка. Но так как трудно добраться до середины нити, находящейся в баллоне, мы присоединяем нагрузку к средней точке накальной обмотки. С точки зрения потенциала эти две точки эквивалентны.

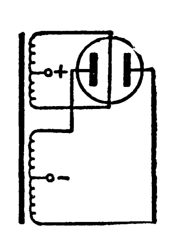
ОДЕКОЛОН... И СГЛАЖИВАНИЕ ВЫПРЯМЛЕННОГО ТОКА

Н. — Меня немного беспокоит то, что в выпрямителях катод лампы представляет собой положительный, а обмотка анода — отрицательный полюс.

До настоящего времени я привык, что отрицательный знак в лампах радиоприемника относится к катоду, а положительный — к аноду.

Л. — Твое беспокойство лишено оснований. Разве не нормально, что источник энергии как бы противоположен устрой-

ству, потребляющему ее?... А потом не забывай, что мы называем «анодом» точку, через которую электроны выходят, а «катодом» — точку, через которую они входят. И, действительно, выходя из анодов ламп приемника, электроны входят в катод выпрямителя, выходят из его анода и входят в катоды приемных ламп. Теперь ты видишь, что все правильно.

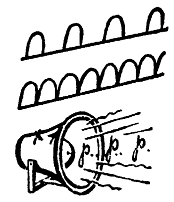


Н. — Безусловно. Извини, но сегодня у меня ужасный дух противоречия... Итак, говорю я, ток, вырабатываемый выпрямителем (рис. 82 или 85), далек от приятного постоянства, характеризующего настоящий постоянный ток. Хотя твой выпрямленный ток и не меняет направления, тем не менее он постоянно изменяет свою величину.

Л. — Конечно, если ты захочешь использовать его в таком необработанном виде и подашь на лампы приемника, их анодный ток будет также следовать этим изменениям и в результате громкоговоритель будет невероятно гудеть.

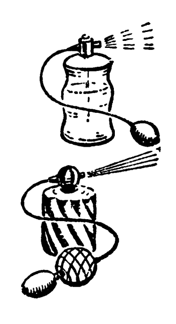
Н. — Но ведь, наверное, есть средство, чтобы выпрямленный ток сделать действительно постоянным?

Л. — Конечно. Это достигается с помощью сглаживания или, как говорят, фильтрации. Выпрямленный необработанный ток можно сравнить со струей одеколона из упрощенного пульверизатора, имеющего только один баллон, который последовательно сжимают несколько раз. Благодаря клапанам, находящимся на входе и выходе баллона, переменное сжимание и разжимание создает на выходе пульверизатора прерывистую струю одного направления.



Н. — Так ведь это тоже выпрямление!

Л. — Да... Но в более совершенных пульверизаторах подача одеколона происходит непрерывной струей благодаря наличию второго баллона, помещаемого вслед за первым. Второй баллон с тонкими и гибкими резиновыми стенками раздувается, получив порцию воздуха из первого баллона. Затем, когда первый баллон разжимается и всасывает новую порцию воздуха, второй медленно сжимается, подавая накопленный воздух в отверстие пульверизатора в виде более или менее постоянной струи воздуха. Таким образом, второй баллон играет роль резервуара, предназначенного выравнивать подачу воздуха путем накапливания его избытка в момент подачи очередной порции и затем плавного расходования.

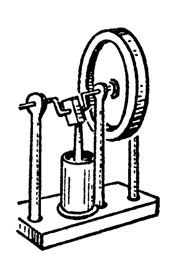


Не вспоминаешь ли ты кое-что, играющее подобную же роль в электрических схемах?

Н. — Конденсатор!... Он тоже способен заряжаться и разряжаться.

Л. — Именно конденсатор мы и используем для фильтрации. Включая его между положительным и отрицательным полюсами выпрямителя, мы выравниваем подачу. Однако одного конденсатора, даже большой емкости, может оказаться недостаточно.

Вспомним принцип махового колеса, которое служит в паровых машинах и двигателях внутреннего сгорания для сглаживания неравномерности возвратно-поступательного движения, производимого поршнем.



Своей инерцией маховое колесо поддерживает равномерность движения. Знакома ли тебе электрическая величина, которая, подобно инерции, противодействовала бы изменениям электрического тока?

Н. — Конечно, это индуктивность.

Л. — Отлично. Так вот на пути выпрямленного тока мы и поместим катушку с сердечником большой индуктивности (ведь мы имеем дело с очень низкой частотой), а после нее закроем выход фильтра (рис. 89) вторым конденсатором, который будет

завершать сглаживание. Впрочем, если надо получить очень тщательную фильтрацию, можно использовать две или три ячейки фильтра, подобные той, которая показана на рис. 89, включив

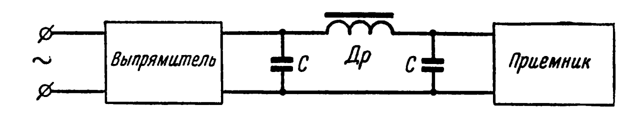


Рис. 89. Звено фильтра, помещенное между выпрямителем и приемником, служит для сглаживания пульсаций тока.

их последовательно. Однако обычно бывает достаточно и одной ячейки для того, чтобы выпрямленный ток не давал фона.

Н. — Последний вопрос. Как нагревают нити накала ламп приемника? Я думаю, что тоже переменным током.

В ПОСЛЕДНИЙ РАЗ О НАКАЛЕ

Л. — Да, ты не ошибся. Для этого на трансформаторе питания (рис. 90) помещается еще одна обмотка низкого напряжения, которая служит для нагрева нитей ламп. Обычно все лампы имеют катод с косвенным накалом, за исключением иногда по-

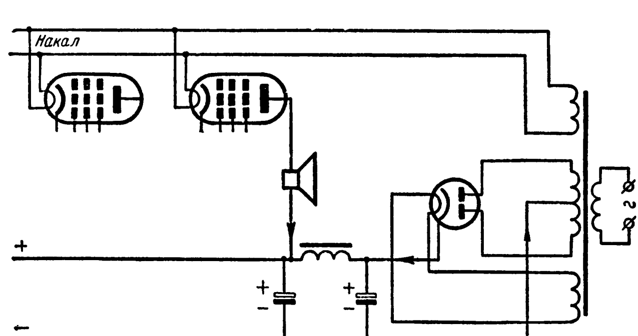


Рис. 90. Схема полного питания приемника от сети переменного тока: питание накала, выпрямление и фильтрация высокого напряжения.



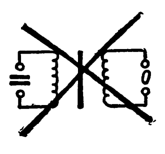
следней (выходной) лампы. Эта лампа должна питать громкоговоритель относительно большим током, и для получения большой электронной эмиссии (как и в кенотронах) в мощных усилительных лампах некоторых типов предпочитают использовать в качестве катода непосредственно нить накала.

Н. — А как же подают смещение на такую лампу?

Л. — Как и для ламп с косвенным накалом, сообщая катоду положительное напряжение относительно сетки при помощи резистора, включенного между катодом и отрицательным полю-

сом источника высокого напряжения. Только здесь потенциал катода непрерывно изменяется, поэтому, как и в случае кенотронов с прямым накалом, резистор смещения одним концом присоединяется не к одному из концов нити накала, а к средней точке накальной обмотки. Так вот, Незнайкин, теперь ты знаешь все, что тебе нужно, о питании приемников.

НЕЗНАЙКИН СОВЕРШАЕТ НЕПРОСТИТЕЛЬНУЮ ОШИБКУ



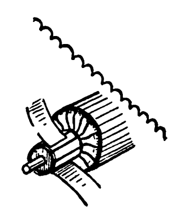
Н. — Я с этим не согласен. Не забудь, что у меня есть дядюшка художник-юморист, которому я обещал собрать приемник и который пользуется сетью постоянного тока 110 *в*.

Л. — Пользуется! От этого не много пользы. Ведь в случае сети постоянного тока нечего и думать о повышении напряжения, если только не применить электродвигатель, соединенный с генератором переменного тока.

Н. — А трансформатор?..

Л. — Незнайкин! Ты меня заставляешь краснеть из-за твоего невежества! Значит, ты забыл, несчастный, что трансформатор основан на принципе индукции и что индукция наблюдается лишь при изменениях тока.

Н. — Да, это верно, я об этом не подумал. Значит, трансформатор при постоянном токе ни к чему. Но как же тогда быть?



Л. — Довольствоваться имеющимся напряжением, уменьшая по возможности потери напряжения. К счастью, существуют специальные лампы для этого случая, которые даже с анодным напряжением 100 *в* имеют хороший к. п. д. Само собой разумеется, что нет нужды «выпрямлять» постоянный ток. Но тем не менее необходимо его фильтровать.

Н. — Фильтровать постоянный ток?!.. Но ведь он же постоянный!!!

Л. — Не нервничай, дружище. Ток электросети, который мы называем постоянным, на самом деле имеет незначительные колебания, которые вызваны самим способом его получения. Так называемые машины постоянного тока в действительности вырабатывают переменный ток, выпрямляемый при помощи синхронного выпрямителя, называемого «коллектором».

Н. — Это дьявольски сложно, и я ничего не понимаю.

Л. — Ты бы меня понял, имея хотя бы элементарные представления об электрических машинах. Но это совсем необязательно для изучения радио. Достаточно знать, что в сети постоянного тока напряжение имеет некоторую пульсацию и, прежде чем использовать его для питания лампы, нужно применить фильтр, аналогичный изображенному на рис. 89.

Н. — Да, но как же быть с накалом?

Л. — Постоянный ток в этом отношении менее гибок, чем переменный. Не имея возможности понизить напряжение при помощи трансформатора, можно воспользоваться способом гашения напряжения. Для этого надо применять резисторы с точно рассчитанными сопротивлениями, на которых погасится излишек напряжения. Впрочем, для накала постоянным током применяют лампы, нить которых рассчитана на напряжение в несколько десятков вольт. Наконец, можно нити этих ламп включить последовательно. Так, пять ламп, каждая из которых требует 20 *в*, включенные последовательно, требуют уже 100 *в*.

Можно, не опасаясь, подать на них 110 *в* от электросети, которой пользуется твой дядюшка.

Н. — Значит, это тот же принцип, который используется при составлении елочной гирлянды из осветительных лампочек с низким напряжением накала, включенных последовательно.

Л. — Да, конечно. А теперь, Незнайкин, так как ты уже посвящен во все тайны питания от сетей переменного и постоянного тока, могу ли я отдохнуть?..



БЕСЕДА ШЕСТНАДЦАТАЯ

В этой беседе наши друзья приступают к изучению принципа преобразования частоты, на котором основаны приемники под названием «супергетеродинов». Начало этой беседы потребует от Незнайкина, так же как и от читателя, повышенного внимания. Как только этот критический момент будет пройден, не будет ничего проще, чем понять изучаемые дальше различные схемы, включая применение в них октода и гептода.

НЕЗНАЙКИН ПРИВОДИТ В ЯРОСТЬ СВОЕГО СОСЕДА

Незнайкин. — Я не хочу прослыть мучеником, дорогой Любознайкин, тем не менее мне кажется, что я жертва науки.

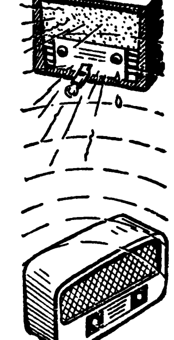
Любознайкин. — Почему же, мой бедный Незнайкин?



Н. — Только что, выходя из дому, я встретил на лестнице соседа, который с яростным видом обещал надрать мне уши, если еще хоть раз по моей вине будет свистеть его приемник. Как-будто я могу заставить свистеть, петь или плакать его музыкальный ящик!!!

Л. — Не заблуждайся, Незнайкин. Твой регенеративный приемник (который стоил мне уже горьких упреков со стороны твоей матери) может заставить свистеть радиоприемники всех троих соседей. Достаточно тебе перейти через точку самовозбуждения, чтобы регенеративный приемник стал настоящим маленьких передатчиком. Вспомни нашу тринадцатую беседу.

Н. — Что ты говоришь? Допустим даже, что другие приемники примут волны, излучаемые моим приемником. Это не должно создавать никакого звука, так как они являются чистыми колебаниями высокой частоты без какой-либо модуляции.



Л. — Да, твой передатчик действительно излучает высокую немодулированную частоту.

Этот ток после детектирования в радиоприемнике твоего соседа нельзя было бы услышать, если бы он не накладывался на токи высокой частоты передающих станций, которые твой сосед хочет слушать. Когда же два переменных тока различных частот накладываются друг на друга, то между ними наблюдается явление и н т е р ф е р е н ц и и или б и е н и й; при этом как раз и может образоваться результирующий ток слышимой частоты.

Н. — Это странно. Мне казалось, что два тока высокой частоты, накладываясь друг на друга, должны образовать ток еще более высокой частоты.

Л. — Рассмотрим, если хочешь, этот вопрос подробнее. Допустим, что мы имеем два тока, частоты которых (и, следовательно, периоды) немного различны (f_1 и f_2 на рис. 91), и что оба тока начинаются в одно и то же мгновение. Вначале их амплитуды складываются и они взаимно усиливаются. Но в конце некоторого числа периодов сдвиг фаз увеличивается настолько, что амплитуды уже больше не складываются, а, наоборот, начинают вычитаться, так как токи проходят уже почти в противоположных направлениях. Токи взаимно компенсируются

до некоторого минимума, когда периоды обеих кривых точно противоположны. Однако сдвиг фаз продолжает увеличиваться и мало-помалу взаимная компенсация начинает уменьшаться, пока токи не начнут опять складываться, достигая максимума в тот момент, когда оба тока снова точно совпадают по фазе. Затем все начинается сначала, так как сдвиг фаз между дзумя токами непрерывно изменяется.

Ты видишь, что результирующий ток представляет собой пульсирующий ток, т. е. такой, амплитуда которого периодиче-

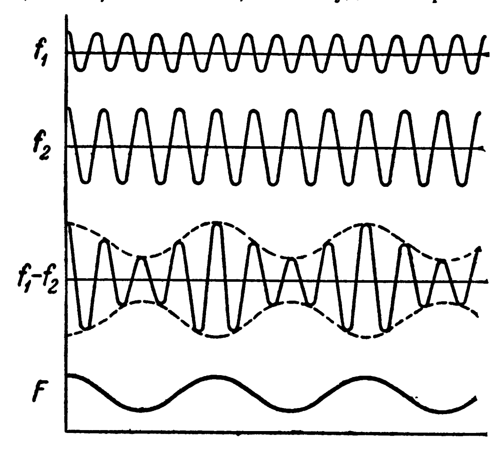
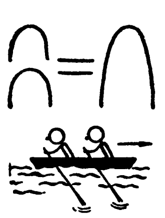


Рис. 91. Сложение двух колебаний f_1 и f_2 образует сложное колебание $f_1 - f_2$, которое после детектирования дает ток частотой F.



ски увеличивается до некоторого максимума и уменьшается до минимума с частотой, значительно более низкой, чем частоты обеих составляющих токов. Если продетектировать результирующий ток, то можно получить ток с частотой F, который характеризует изменение амплитуды пульсаций (рис. 91). Частота результирующего тока равна разности частот обеих составляющих токов.

Н. — Как это дьявольски сложно! Я попробую представить это себе на конкретном примере. Пусть два гребца, которые, не вынимая весел из воды, гребут с несколько различным ритмом. Там также, я думаю, возникнут биения. Как только движения гребцов совпадут, их маленькая лодка начнет сильио продвигаться вперед. Затем, когда слаженность работы гребцов начнет нарушаться и появится сдвиг фазы, скорость движения лодки уменьшится. Наконец, движения гребцов будут направлены навстречу друг другу, и лодка остановится. Мало-помалу восстановится согласованное движение весел и лодка начнет опять двигаться. Итак, лодка все время будет попеременно то двигаться, то останавливаться.

Л. — Я вижу, что ты понял сущность явления интерференции, являющейся результатом сложения периодических колебаний различной частоты.

Допустим теперь, что твой сосед слушает передачу на частоте 1 000 000 *гц* и что твой регенеративный приемник излучает колебания на частоте 1 005 000 *гц*. Эти два тока, накладываясь

в радиоприемнике твоего несчастного соседа, вызывают появление тока, частота которого будет равна разности принимаемых частот: 1 005 000 — 1 000 000 = 5 000 *гц*.

Этот результирующий ток с частотой 5 000 *гц* прекрасно слышен и проявляется в виде резкого свиста высокого тона. Вот каким образом ты донимаешь своего соседа.

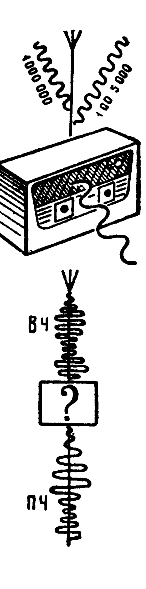
Н. — Я тебя уверяю, что грешил по неведению, и теперь, когда я знаю...

Л. — ...ты можешь понять легко теорию работы супергетеродинного приемника — приемника, основанного на явлении интерференции.

Н. — Значит, это приемник свистит постоянно?

Л. — Нет... или, если хочешь, это приемник, свист которого не слышен.

Н. — И после таких объяснений ты продолжаешь утверждать, что радио — это очень просто!..



ОТ ВЫСОКОЙ ЧЕРЕЗ ПРОМЕЖУТОЧНУЮ К НИЗКОЙ ЧАСТОТЕ

Л. — Не сердись, мой дорогой. В супергетеродинах создают биения между током высокой частоты принимаемой станции и током высокой частоты маленького генератора, называемого **гетеродином**, имеющимся в самом приемнике. Только настраивают гетеродин на такую частоту, при которой результирующая частота биений была бы относительно высокой, выше 100 *кгц* (обычно порядка 465 *кгц*); ток такой частоты, конечно, не слышен.

Н. — Я не вижу смысла в замене принимаемой высокой частоты — менее высокой, но еще не слышимой.

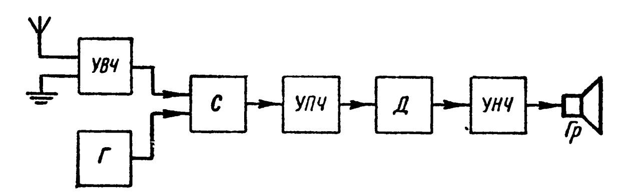
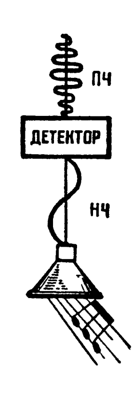


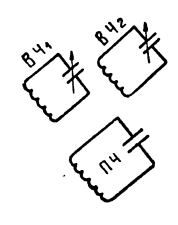
Рис. 92. Блок-схема супергетеродина.

УВЧ — усилитель высокой частоты; *Г* — гетеродин; *С* — смеситель; *УПЧ* — усилитель промежуточной частоты; *Д* — детектор; *УНЧ* — усилитель низкой частоты; *Гр* — громкоговоритель.



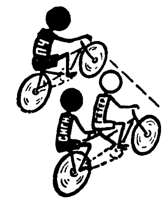
Л. — Позволь мне в двух словах объяснить тебе принцип работы супергетеродина, тогда тебе все будет ясно. Рассмотрим блок-схему супергетеродина, изображенную на рис. 92.

С одной стороны, мы имеем ток высокой частоты, наведенный в антенне волнами передатчика, а с другой — ток, несколько отличающийся по частоте и вырабатываемый местным гетеродином. Эти два тока накладываются друг на друга и образуют третий ток с частотой, которую называют **промежуточной частотой** (ПЧ). Этот ток промодулирован так же, как и первоначальный ток из антенны, так как произведенное преобразование не отразилось на модуляции, полученной в результате воздействия студийного микрофона на ток высокой частоты.



Однако ток промежуточной частоты значительно легче усилить, чем ток, полученный из антенны, в тех случаях, когда его частота ниже и, следовательно, паразитные емкости меньше сказываются. Этот ток усиливается в каскадах промежуточной частоты, затем детектируется, как и всякий ток высокой частоты; после этого выделенный ток низкой частоты усиливается в каскадах усиления низкой частоты и подается на громкоговоритель.

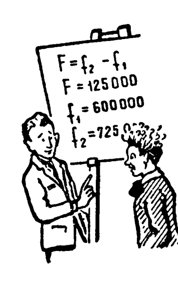
Н. — Я вижу, что супергетеродин — прибор ужасно сложный. Приемники, которые мы до сих пор изучали, состояли из каскадов высокой частоты, детекторного каскада и каскадов низкой частоты, в то время как в супергетеродинном приемнике имеются местный гетеродин, преобразователь частоты, каскады усиления промежуточной частоты, детекторный каскад и каскады усиления низкой частоты. Вероятно, настроить такой приемник очень трудно, так как вместо настройки на одну частоту, как мы делали до сих пор, необходимо настраивать входную цепь на частоту принимаемой станции, цепь гетеродина — на другую частоту, а цепи усилителя промежуточной частоты — на третью частоту.



НЕЗНАЙКИН ОЧАРОВАН СУПЕРГЕТЕРОДИНОМ

Л. — Успокойся, я тебе не открыл еще одного из главных преимуществ супергетеродина: цепи усилителя промежуточной частоты настроены раз и навсегда на одну и ту же постоянную частоту. Гетеродин настраивают так, чтобы для каждой принимаемой частоты его ток, складываясь с током антенны, давал всегда одну и ту же результирующую частоту, равную промежуточной.

Н. — Я думаю, что числовой пример здесь не будет лишним.

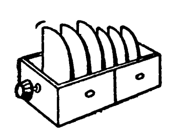


Л. — Допустим, что мы имеем супергетеродин, каскады промежуточной частоты которого настроены на частоту 465 *кгц*. Чтобы принять сигнал передающей станции с частотой 600 *кгц* (волна 500 *м*), необходимо настроить гетеродин на частоту 1 065 *кгц*; тогда результирующая частота будет равна разности составляющих частот: 1 065 — 600 = 465 *кгц*.

Чтобы принять другой сигнал с частотой 850 *кгц* надо настроить гетеродин на частоту 1 315 *кгц;* тогда мы снова получим 1 315 — 850 = 465 *кгц*.

Н. — Теперь мне кажется, что я понял. В результате контуры настройки усилителя промежуточной частоты совсем не надо настраивать каждый раз при переходе от одной станции к другой. Я думаю, что поэтому нам и не надо применять конденсаторы переменной емкости, потому что настройка контуров не меняется.

Следовательно, в супергетеродине имеются только два контура, требующих настройки: входной контур (настраиваемый на принимаемый сигнал) и контур гетеродина (который надо настраивать на частоту, бóльшую или меньшую, чем принимаемый сигнал, на величину промежуточной частоты).



Таким образом, настройка оказывается очень простой.

Л. — Еще проще, чем ты думаешь. Оба конденсатора обычно управляются одной и той же ручкой. При этом разность частот настройки постоянна, независимо от положения роторов конденсаторов.

Н. — Но каким образом осуществляют практически наложение двух колебаний?

Л. — Существует тысяча и один способ преобразования частоты, принцип действия которых примерно один и тот же. Поэтому достаточно рассмотреть основные и особенно наиболее распространенные.

Одна из наиболее старых схем (рис. 93) хорошо иллюстрирует принцип работы супергетеродина. В контур L_2C_2 гетеродина на отдельной лампе $Л_2$ включена маленькая катушка связи L_3, которая индуктивно связана с катушкой L_1 входного контура. Благодаря этой связи колебания гетеродина вводятся в контур L_1C_1. Таким образом, на сетку лампы $Л_1$ одновременно подаются два переменных напряжения: напряжение, возбуждаемое в антенне, и напряжение от гетеродина. Лампа $Л_1$ работает как анод-

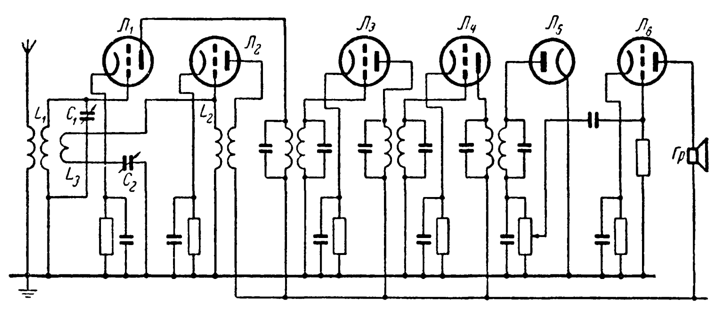
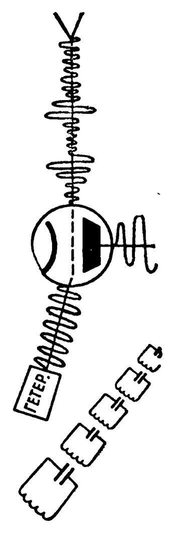


Рис. 93. Схема супергетеродина с гетеродином на отдельной лампе.



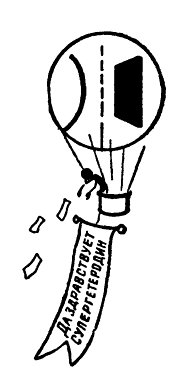
ный детектор благодаря смещению за счет сопротивления в ее катоде В результате детектирования двух колебаний, поданных на сетку лампы $Л_1$, образуется промежуточная частота.

Схема приемника включает также два каскада усиления промежуточной частоты ($Л_3$ и $Л_4$) с настроенной трансформаторной связью, затем детектор ($Л_5$) и усилитель низкой частоты ($Л_6$).

Н. — Рассматривая схему, я вижу, что цепи настройки усилителя промежуточной частоты имеют шесть колебательных контуров. Думаю, что в результате этого приемник должен иметь огромную избирательность.

Л. — Конечно. В этом состоит еще одно преимущество супергетеродина. В приемниках прямого усиления на высокой частоте нельзя увеличивать число настраивающихся контуров, хотя бы из-за трудности одновременной настройки их конденсаторами переменной емкости. В то же время в супергетеродинах ничто не мешает увеличению числа колебательных контуров, потому что их настройка, по крайней мере в каскадах усиления промежуточной частоты, является неизменной.

Н. — Я чувствую, что очарован преимуществами приемника с преобразованием частоты. Могу я начать строить приемник по схеме, приведенной на рис. 93?



СЕТКИ РАЗМНОЖАЮТСЯ

Л. — И не мечтай. Эта схема полна недостатков. Уже давно не подводят к одному электроду лампы два колебания, а также избегают такой сильной связи между входным колебательным контуром и контуром гетеродина.

Н. — Сильная связь имеет недостатки?

Л. — Да, и серьезные. Так как разница в настройке контуров незначительна, гетеродин может начать генерировать колебания не на частоте контура L_2C_2, а на частоте входного контура L_1C_1; тогда не будет происходить преобразования частоты. Это явление называют затягиванием колебаний.

Н. — Как это неприятно. Но я не вижу другого способа наложения колебаний, кроме индуктивной связи между контурами входа и гетеродина.

Л. — Способ заключается в применении многосеточных ламп, в простейшем случае с двумя сетками. Колебания гетеродина подаются на первую сетку (рис. 94), а колебания принимаемого сигнала — на вторую. Таким образом, одновременно два колеба-

f1 = f2
F = f2 − f1 = 0

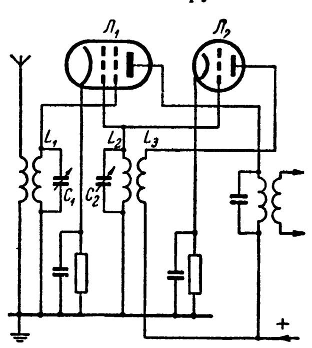


Рис. 94. Преобразование частоты с помощью двухсеточной лампы $Л_1$ и гетеродина с лампой $Л_2$.

Рис. 95. Значительно более совершенная схема преобразования частоты на гексоде.

ния действуют на анодный ток, который и будет являться результирующим. Ты видишь, что в этой схеме нет индуктивной связи между контурами L_1C_1 и L_2C_2.

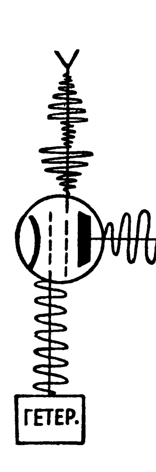
Н. — Действительно. Два колебания действуют на анодный ток независимо одно от другого.

Л. — Эта схема, когда-то очень популярная, сейчас уже тоже не применяется. Ее основным недостатком, помимо прочих, является сильная паразитная связь между колебательными контурами, обусловленная...

Н. — Я догадываюсь: емкостью между обеими сетками. Это так?

Л. — Ты прав. И поскольку ты так удачно угадываешь мои мысли, попробуй найти выход из положения.

Н. — Это легко. Достаточно поместить между сетками разделительную переборку, иными словами экранирующую сетку.



Л. — Еще более совершенный способ заключается в том, что одну из сеток, в частности сетку гетеродина, помещают между двумя экранирующими сетками и добавляют к тому же противодинатронную сетку.

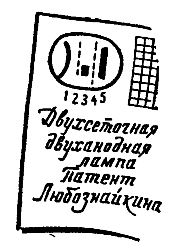
Н. — На рис. 95 видно, что такой сеткой, образующей бутерброд, является ближайшая к аноду. Впрочем, я не усматриваю в этом каких-либо неудобств. Как же называется такая лампа с семью электродами?

Л. — Это гексод. Обе экранирующие сетки считаются за одну, и поэтому насчитывают шесть электродов. А по-гречески

гекса — это шесть. С такой лампой можно не опасаться паразитных связей между приемным контуром и контуром гетеродина, работающим на триоде. При этом можно без всяких опасений разместить триод в одной колбе с гексодом и использовать для обеих ламп общий катод. Подобный триод-гексод находит наибольшее применение в современных приемниках.

Н. — Из рис. 95 можно заключить, что обе экранирующие сетки соединены между собой в самой колбе.

Л. — Это закономерно, так как напряжение на обеих сетках одинаково и подбирается с помощью гасящего резистора R, заблокированного конденсатором C.



В ЦАРСТВЕ СЕТОК

Н. — Триод-гексод является очень сложной системой, содержащей восемь электродов. Нельзя ли составить из них одну систему электродов вместо того, чтобы располагать рядом две системы? Так, например, можно было бы уменьшить размеры анода триода так, чтобы этого было достаточно лишь для самовозбуждения гетеродина. Электронный поток при этом свободно проходил бы к следующим электродам, входящим в систему

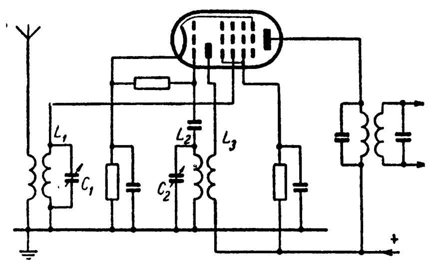
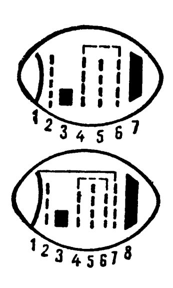


Рис. 96. Схема преобразования частоты на октоде.



гексода: к первой экранирующей сетке, к сетке, на которую подается принимаемый сигнал,...

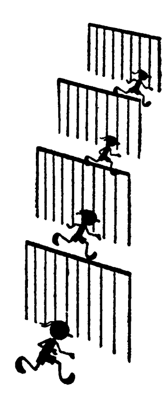
Л. — и которую называют управляющей...

Н. — Благодарю! И, наконец, ко второй экранирующей сетке и к аноду.

Л. — Ты только что, дорогой Незнайкин, повторно изобрел гептод (лампу с семью электродами). И если ты добавишь еще противодинатронную сетку, ты получишь октод — лампу с восемью электродами (рис. 96).

Н. — И такая лампа существует?

Л. — Лучше сказать существовала, так как в настоящее время отказываются и от гептодов и от октодов, предпочитая триод-гексоды, обеспечивающие наименьшую связь между принимаемыми сигналами и колебаниями гетеродина.



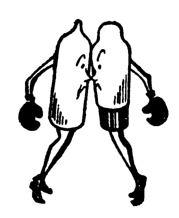
Н. — Я совершенно подавлен таким изобилием сеток. Чтобы как-то разобраться во всем этом, я попытаюсь сам сформулировать роль различных электродов октода:

1) катод, служащий, очевидно, для излучения электронов; 2) первая сетка местного гетеродина; 3) маленький анод гетеродина; 4) первая экранирующая сетка, предназначенная для

устранения паразитной емкости между гетеродинной сеткой и сигнальной сеткой, на которую подаются колебания из антенны; 5) сетка, к которой приложены колебания антенны; 6) вторая экранирующая сетка, предназначенная для ускорения движения электронов; 7) защитная сетка, мешающая вторичным электронам возвращаться с анода на вторую экранирующую сетку; 8) анод, с которого снимается результирующий ток промежуточной частоты.

Л. — Отлично. Я вижу, что ты в этом правильно разобрался.

Н. — Но я все же не понимаю, как сами электроны ориентируются во всех этих сетках и не ошибаются дорогой.



БЕСЕДА СЕМНАДЦАТАЯ

Незнайкин долго размышлял о супергетеродине и нашел в нем крупный дефект. К счастью, Любознайкин легко преодолевает препятствия. В результате нашим друзьям удается изобразить практически осуществимую схему. Чтобы закончить беседу, Любознайкин излагает своему ученику принцип действия и устройства различных громкоговорителей. Но на этом беседы еще не заканчиваются...

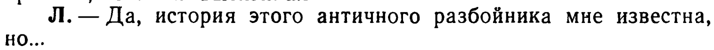
ИСТОРИЯ ОДНОГО РАЗБОЙНИКА

Незнайкин. — Я с трудом мысленно переварил то, что узнал о супергетеродине. К счастью, моя эрудиция в области древней истории помогла мне в этом.

Любознайкин. — Клянусь октодом, я не вижу какой-либо связи между...



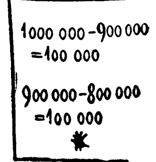
Н. — Не нервничай. Супергетеродин напоминает мне эдакого симпатичного гангстера античности, которого звали Прокруст. Обладая глубоко развитым чувством гостеприимства, он укладывал своих гостей на железную кровать и отрезал им ноги, если они были длиннее кровати. Если же они не достигали края кровати, то он их вытягивал.



Л. — Да, история этого античного разбойника мне известна, но...

Н. — Разве не тот же принцип лежит и в основе супергетеродина? Ведь какова бы ни была частота принимаемого сигнала, ее стараются изменить так, чтобы получать всегда одну и ту же постоянную частоту, т. е. ту, на которую настроены контуры усилителя промежуточной частоты.

Л. — Ты прав, Незнайкин. Супергетеродин — настоящее прокрустово ложе для частот различных передатчиков.



Н. — Не знаю, правильно ли я понял принцип работы супергетеродина, но одно обстоятельство меня очень беспокоит.

Л. — Что же именно, дружище?

Н. — Предположим, что промежуточная частота равна 100 *кгц* и что мы хотим слушать передачу на частоте 1 *Мгц*. Для этого гетеродин надо настроить на 900 *кгц*, так как разность между двумя составляющими частотами будет точно 100 *кгц*. Но предположим теперь, что другая станция работает на частоте 800 *кгц* и ее сигнал также попадает на смесительную лампу. Эта частота, складываясь с частотой гетеродина, создаст результирующую частоту тоже 100 *кгц* Следовательно, она также будет усиливаться в каскадах усиления промежуточной частоты и будет слышна в громкоговорителе.



Л. — Твои рассуждения правильны. Действительно, для каждой частоты местного гетеродина имеются две частоты входного сигнала, которые дают одну и ту же промежуточную частоту; один сигнал имеет частоту выше, чем частота гетеродина, а другой — ниже. Их называют з е р к а л ь н ы м и ч а с т о т а м и.

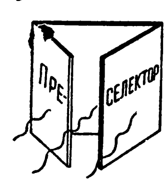
Н. — Но это очень тоскливо слушать две передачи сразу.

Л. — Полностью с тобою согласен. Однако и тут есть средство: надо сделать так, чтобы на смесительную лампу попадала только та из частот, которая нужна.

Ты, наверное, заметил, что интервал между двумя зеркаль-

ными частотами равен удвоенному значению промежуточной частоты. Если выбрать достаточно высокую промежуточную частоту, например 465 *кгц,* то зеркальные частоты окажутся разнесенными на 930 *кгц*. При этом достаточно иметь хорошую избирательность по входной цепи, чтобы полностью исключить возможность зеркального приема. Для этого на входе приемника используют контур с высокой избирательностью, который называют п р е с е л е к т о р о м. Другой вариант состоит в том, что мешающую частоту устраняют при помощи каскада предварительного усиления высокой частоты с избирательными контурами.



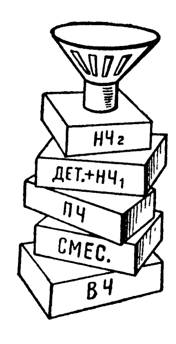


Н. — Я предпочитаю последний способ. Мне кажется, что перед тем как преобразовать приходящий из антенны сигнал, ослабленный длинным путешествием от передатчика к приемнику, его хорошо немного усилить...

Не думаешь ли ты, что теперь, когда мы уже столько знаем о супергетеродине, пришла пора подумать о приемнике для твоей тетушки, ведь она так долго его ждет. Можешь ли ты нарисовать схему?

ТЕТУШКИН ПРИЕМНИК

Л. — Вот она, полностью вычерченная (рис. 97). Ты видишь в общих чертах, что она состоит из предварительного каскада усиления высокой частоты на лампе $Л_1$, преобразователя



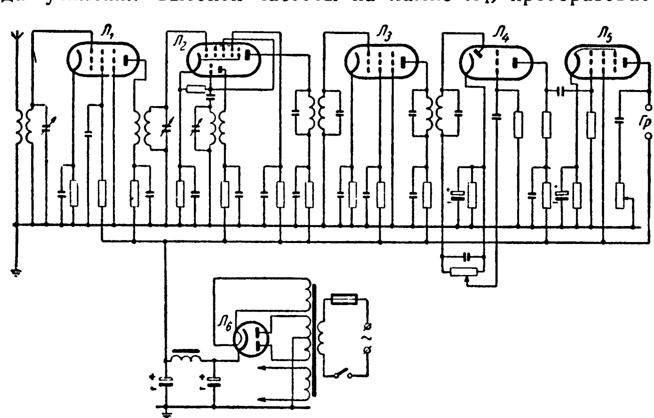
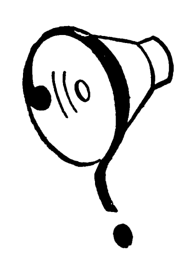


Рис. 97. Схема супергетеродина с каскадом усиления высокой частоты и преобразованием на триод-гексоде.



на октоде $Л_2$, каскада усиления промежуточной частоты на пентоде $Л_3$, каскадов детектирования и предварительного усиления низкой частоты на комбинированной лампе-триоде $Л_4$ и, наконец, выходного оконечного каскада усиления низкой частоты на низкочастотном пентоде $Л_5$.

Все эти элементы схемы в отдельности тебе уже хорошо знакомы, включая и блок питания от сети переменного тока с кенотроном $Л_6$.

ИСТОРИЯ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЯ

Н. — Не совсем так, дружище. На твоей схеме я вижу незнакомую мне цепь с загадочной надписью АРУ. Да и о громкоговорителе ты мне ничего не рассказывал.

Л. — Ты не спеши, Незнайкин. АРУ — это одно из усовершенствований, улучшающих работу приемника. Но об этом мы поговорим после того, как познакомимся с устройствами и работой громкоговорителя.

Н. — Я полагаю, что он подобен телефонным наушникам, но в нем применяются более мощные магниты и бóльшая мембрана.

Л. — Именно так и были устроены первые громкоговорители. А для увеличения громкости звука их снабжали длинным рупором в виде лебединой шеи, заимствованным от старинного фонографа (рис. 98). Звук походил на лязг железа, но первые слушатели были восхищены и этим.

В таких громкоговорителях маленькая стальная мембрана выполняла сразу две функции: она преобразовывала низкочас-

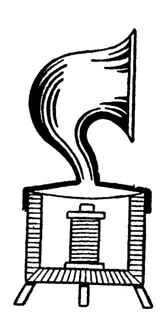


Рис. 98. Устройство электромагнитного громкоговорителя с рупором.

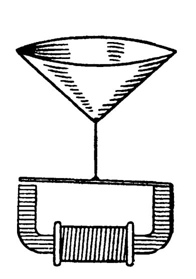
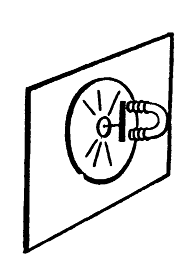


Рис. 99. Электромагнитный громкоговоритель с коническим диффузором.

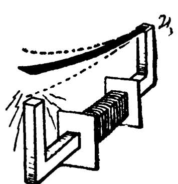


тотные колебания электрического тока в механические колебания и, сообщая эти колебания окружающему воздуху, создавала звуковые волны.

Н. — Это уж слишком много для бедного кусочка стали.

Л. — То же самое вынуждены были признать и техники. Поэтому функции были разделены: универсальная мембрана была заменена гибкой стальной пластинкой, вибрирующей под влиянием переменного электромагнитного поля, и большой конической мембраной — диффузором — из бумаги или другого такого же легкого материала (рис. 99).

Диффузор соединялся с вибратором при помощи тонкого стержня, по которому вибрации пластинки передавались диффузору, а затем и большой массе воздуха.



Н. — Мне кажется, что это очень хорошо. Почему же ты говоришь об этих громкоговорителях в прошедшем времени?

Л. — Потому что такие громкоговорители больше уже не применяются из-за одного серьезного недостатка.

Речь идет о слишком малой амплитуде колебаний вибрирующей пластинки. При слишком сильной вибрации пластинка ударялась о полюсы магнитов.

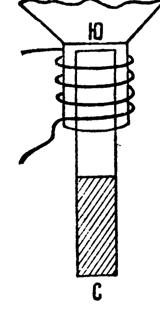
Н. — А разве нельзя было ее укрепить подальше от магнитов?

Л. — Увеличение расстояния приводило к уменьшению силы магнитного поля, а следовательно, и к уменьшению амплитуды

вибрации. Благодаря твоему предложению мы оказываемся между двух огней.

Н. — Изобрели ли, однако, какую-либо систему, свободную от этих недостатков?

СОВРЕМЕННЫЙ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ



Л. — На смену электромагнитным громкоговорителям, основанным на старом принципе телефона, пришел с большим успехом электродинамический громкоговоритель. В этом громкоговорителе имеется электромагнит, состоящий из катушки, которая находится в очень сильном магнитном поле постоянного магнита (рис. 100). Через катушку проходит ток низкой частоты, вследствие чего она в свою очередь становится небольшим магнитом, полярность которого непрерывно изменяется. Поэтому она то притягивается магнитом, который стремится ее втянуть, то выталкивается из него. Эта катушка соединена с центром диффузора, которому она передает свои колебания. Ты видишь, что только упругость диффузора ограничивает в этом случае движения катушки.

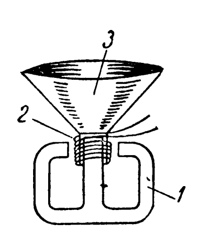


Рис. 100. Устройство электродинамического громкоговорителя.

1 — магнит; *2* — подвижная катушка; *3* — диффузор.

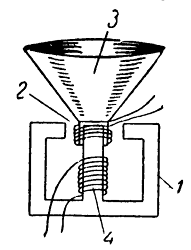
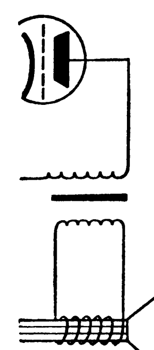


Рис. 101. Электродинамический громкоговоритель с подмагничивающей обмоткой.

1 — магнит; *2* — подвижная катушка; *3* — диффузор; *4* — обмотка подмагничивания.



Н. — Это действительно остроумно. Однако из рисунка видно, что места для размещения подвижной катушки очень мало.

Л. — Действительно, для концентрации постоянного магнитного поля расстояние между полюсами магнита должно быть как можно меньше. Поэтому, а также для того, чтобы подвижная катушка была возможно легче, она имеет малое количество витков, намотанных в один или максимум два слоя. Несмотря на то, что провод имеет очень малое сечение, он не может быть поврежден анодным током. Проходящий через катушку ток является лишь переменной составляющей благодаря наличию понижающего трансформатора, который, впрочем, необходим и по ряду других соображений.

Н. — Я полагаю, что постоянный магнит должен быть достаточно сильным.

Л. — Ты не ошибаешься.

Когда-то ввиду относительно высокой стоимости хороших магнитных сплавов, из которых делались постоянные магниты,

часто использовались электромагниты, намагничивающая обмотка которых располагалась на центральном стержне внутри электромагнита (рис. 101).

Н. — А откуда берут ток для намагничивания?

Л. — Для питания больших громкоговорителей используется отдельный выпрямитель с фильтром, но для маломощных громкоговорителей, используемых в радиоприемниках, намагничивающим током может быть общий анодный ток, потребляемый всеми лампами, причем намагничивающая обмотка служит в этом случае дросселем фильтра (рис. 102).

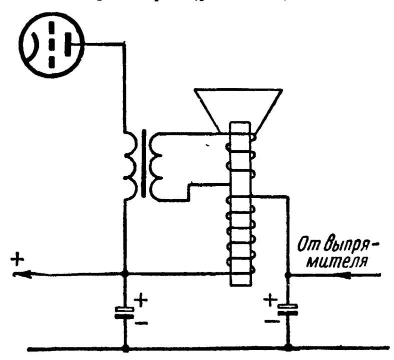
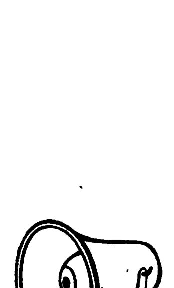


Рис. 102. Схема с использованием подмагничивающей обмотки в качестве дросселя фильтра.

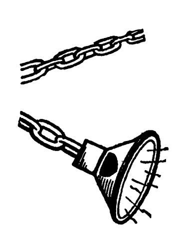


Н. — Это очень практично! Таким образом, намагничивающий ток обходится бесплатно.

Л. — Не совсем. Ведь на намагничивающей обмотке падает довольно большое напряжение, которое должно быть учтено при расчете выпрямительного устройства.

Н. — Теперь, после ознакомления с громкоговорителем, который является конечным звеном в длинной цепи радиопередачи, мне кажется, что больше нечего изучать в области радио

Л. — В самом деле, на этом мы могли бы закончить наши беседы, так как ты знаешь в общих чертах основы радиотехники. Но современный приемник имеет некоторое количество элементов, целью которых является облегчение управления или улучшение качества звучания. Поэтому нам придется изучить наиболее употребительные из этих элементов для завершения твоего технического образования.



БЕСЕДА ВОСЕМНАДЦАТАЯ

Проблемы регулировки и поддержания одинакового уровня громкости приема составляют одну из наиболее увлекательных глав радио. Осуществить регулировку громкости звука легко, но поддержать ее на постоянном уровне труднее, так как замирания очень сильно влияют на постоянство уровня приема... Любознайкин расскажет об этом неприятном явлении и покажет, каким образом в современных радиоприемниках применение автоматической регулировки усиления (АРУ) позволяет значительно ослабить влияние замираний.

РАЗМЫШЛЕНИЯ ОБ ОТРАЖЕНИИ ВОЛН

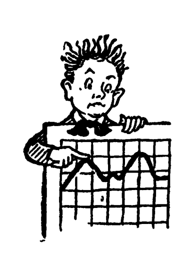
Незнайкин. — Ты обещал рассказать мне об АРУ. Что это такое?



Любознайкин. — Это сокращение термина автоматическая регулировка усиления. Такая регулировка позволяет поддерживать постоянство уровня громкости приема, несмотря на влияние замираний.

Н. — Но я не знаю, что такое замирание?

Л. — Замирание — это уже давно известное явление, заключающееся в том, что прием отдаленных станций без видимой причины происходит иногда со значительными колебаниями интенсивности. Эти изменения силы приема, которые могут быть продолжительными или кратковременными, причем временами прием может полностью прекращаться, очень интересовали ученых.



Н. — Я думаю, что замирания приема очень мешали слушателям, потому что такое ослабление приема совершенно не соответствовало намерениям композиторов, произведения которых явно искажались. Но я уверен, что уже найдены причины замираний и средств борьбы с ними.

Л. — Так было бы, если бы причины возникновения замираний зависели от передатчика или приемника. Но это явление происходит как раз между ними. Волны, возбуждаемые передатчиком с постоянной интенсивностью, достигают приемника со значительными колебаниями интенсивности.

Н. — Значит, замирания являются аномалией в распространении электромагнитных волн?

Л. — Да. Согласно современной теории волны распространяются различными путями. Один путь лежит вдоль поверхности Земли; по нему распространяется так называемая земная волна. Она сравнительно быстро затухает из-за поглощения энергии всеми проводниками, встречающимися на ее пути, в которых она наводит токи высокой частоты. Имеются также волны пространственные, которые распространяются от антенны по пути, лежащему под бо́льшим или меньшим углом к поверхности Земли...

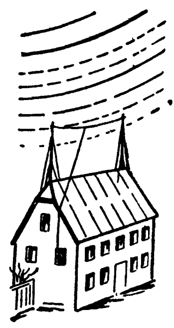


Н. — Эти волны для нас потеряны; они уходят, вероятно, в межпланетное пространство.

Л. — Ошибаешься! На некоторой высоте (приблизительно 120 *км*) волны встречаются со слоем ионизированного газа, образующего для них настоящее зеркало, от которого они отражаются обратно на землю. Этот слой называется ионосферой или по имени тех, которые впервые высказали предполо-

жение об его существовании, слоем Кенели — Хивисайда (рис. 103).

Н. — Значит, может получиться так, что антенна окажется сразу под воздействием двух волн, идущих от одного и того же передатчика: земной волны и волны, отраженной ионосферой.



Л. — Правильно. Ты замечаешь, что длина путей этих волн различна. В то время как одна, следуя вдоль поверхности земного шара, идет по кратчайшему пути, другая заходит далеко в верхние слои атмосферы, прежде чем достигнет своего назначения. Когда обе волны встречаются в приемной антенне, они могут очутиться в фазе. Тогда возбуждаемый ими сигнал будет усилен. Если же они встретятся в противофазе, то возбуждаемые в антенне сигналы будут ослаблены или взаимно компенсированы.

Н. — Однако это не объясняет причины, почему интенсивность приема непрерывно изменяется. Ведь две волны, поступая

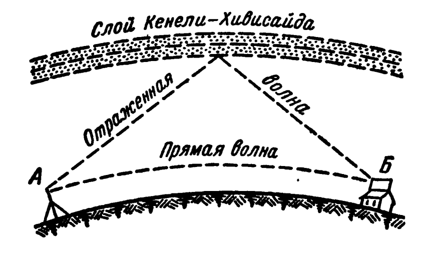
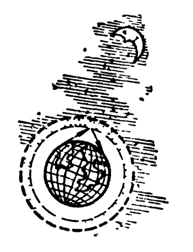
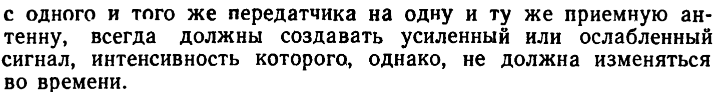


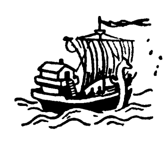
Рис. 103. Волна передатчика *А* доходит до приемной антенны *Б* двумя различными путями: следуя вдоль поверхности земли и после отражения в высоких слоях атмосферы.



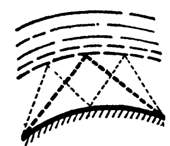


с одного и того же передатчика на одну и ту же приемную антенну, всегда должны создавать усиленный или ослабленный сигнал, интенсивность которого, однако, не должна изменяться во времени.

Л. — Да, так оно и было бы, будь ионосфера неподвижным и жестким зеркалом. На самом же деле она может быть уподоблена морю с его волнами, бурями и приливами. Поверхность ионосферы постоянно движется, а ее высота подвержена суточным и сезонным изменениям. Поэтому длина пути отраженных волн будет различной и они будут то усиливать, то ослаблять земную волну. Именно это и вызывает постоянные изменения в интенсивности приема.



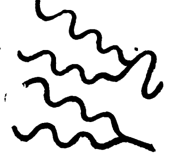
Н. — Но ты сказал, что наземная волна ослабляется относительно быстро по мере того, как она удаляется от передатчика. Я думаю, что, начиная с некоторого расстояния, приемная антенна будет находиться в поле только одной пространственной отраженной волны. В этом случае не будет замираний.



Л. — Увы, на антенну обычно попадает несколько отраженных волн, которые следовали по различным траекториям и подверглись многократным отражениям от ионосферы и Земли, также отражающей волны наподобие зеркала.

Н. — Словом, нет средства для устранения замираний?

БОРЬБА С ЗАМИРАНИЯМИ



Л. — До тех пор, пока антенна приемника будет одновременно принимать несколько волн, замирания будут существовать. Их можно уменьшить, применяя на передающих станциях специальные антенны, которые излучают волны, направленные под заданным углом к горизонту, а также используя на приемной

стороне антенну направленного действия, которая выбирала бы из всех поступающих на нее волн одну, приходящую под определенным углом.

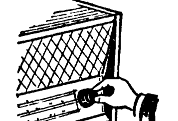
Н. — Если в этом и заключается борьба с замираниями, то это должно быть дьявольски сложно!

Л. — Нет, дорогой Незнайкин. Кроме усовершенствования передающих антенн, для уменьшения интенсивности замираний применяют и другие способы борьбы, уже в самом приемнике. Зная, что к приемной антенне приходят волны с сильно изменяющейся напряженностью, пытаются поддержать постоянство громкости приема на выходе приемника путем соответствующей регулировки усиления.

Н. — Значит, если я правильно понял, изменение в напряженности компенсируется изменением степени усиления. Когда интенсивность волны ослабевает, усиление увеличивают и, наоборот, когда напряженность волны возрастает, усиление уменьшают.

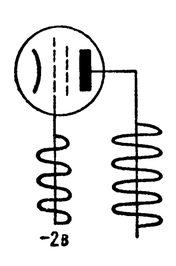
Л. — Именно так и поступают. Когда вследствие замираний сигнал доходит очень ослабленным, мы увеличиваем чувствительность приемника, повышая усиление каскадов высокой частоты (а если это супергетеродин — то и каскадов промежуточной частоты).

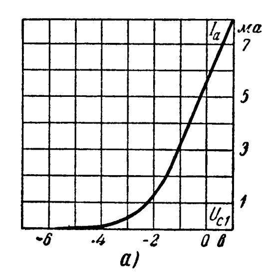
Н. — Однако я не вижу, каким способом можно регулировать усиление электронной лампы.



ТАИНСТВЕННАЯ «ТОЧКА X»

Л. — Ты уже знаешь, что чем больше крутизна характеристики лампы, тем лучше она усиливает. Для одной и той же лампы крутизна изменяется в зависимости от того, на каком участке характеристики лампа работает. Положение р а б о ч е й т о ч к и на характеристике определяется величиной поданного на ее сетку отрицательного смещения...





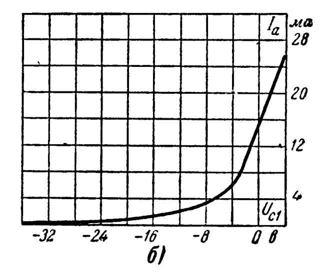
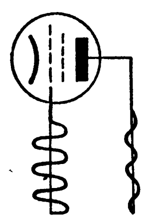


Рис. 104. Характеристики лампы.

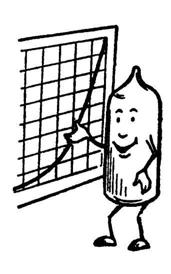
а — с короткой характеристикой;
б — с переменной крутизной (с удлиненной характеристикой).



Н. — Я тебя перебью, Любознайкин. Я отлично помню, что характеристика лампы в разных точках имеет различную крутизну. Наибольшее ее значение относится к прямолинейной части кривой. Если мы будем увеличивать смещение, то войдем в зону нижнего изгиба характеристики, где крутизна будет стремительно убывать (рис. 104, *а*). Однако ты мне много раз повторял, что эта часть характеристики является запретной зоной.

Ведь усиление без искажений возможно только на прямолинейном участке.

Л. — Это так, когда мы имеем дело с обычными лампами и значительными амплитудами сигнала, как, например, в каскадах низкой частоты. Но на высокой и промежуточной частотах амплитуда сигнала еще очень мала и в этом случае достаточно иметь приблизительно прямолинейный участок в области рабочей точки. Для этого созданы специальные лампы, крутизна характеристики которых изменяется сравнительно плавно, так что изгиб характеристики нерезко выражен (рис. 104, *б*). Такие лампы называются лампами с переменной крутизной. Конечно, это не означает, что крутизна всех других ламп постоянна, а лишь то, что в этих специальных лампах можно выбирать рабочую точку на участках с различной крутизной.



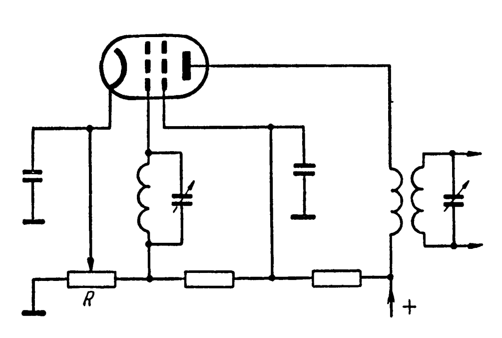


Рис. 105. Регулировка усиления с помощью потенциометра *R*, изменяющего отрицательное напряжение на сетке лампы.

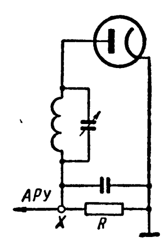
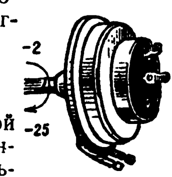


Рис. 106. В точке *X* образуется отрицательное напряжение, пропорциональное средней интенсивности высокочастотного сигнала.



Н. — Если бы я знал о существовании ламп с переменной крутизной, я бы не стал возражать. Характеристика с переменной крутизной показывает, что если на сетку лампы дать большое напряжение смещения, она не только не усилит, но даже ослабит поданные на ее сетку сигналы.

Л. — Это то, что нужно. Благодаря этому нам удается поддерживать нормальный выходной уровень громкости даже при очень интенсивных сигналах.

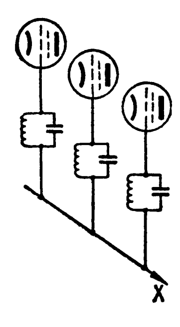
Чтобы регулировать усиление при помощи ламп с переменной крутизной, можно использовать потенциометр R_1, позволяющий регулировать величину сеточного смещения (рис. 105).



Н. — Но это ужасно! Тогда надо, чтобы слушатель, не отпуская ручки потенциометра, постоянно вертел ее для компенсации изменений силы приема при наличии замираний. Какое же удовольствие может быть от музыкальной передачи при таких условиях!...

Л. — К счастью, имеется возможность сделать такую регулировку автоматической. Для этого в приемнике надо найти точку, потенциал которой становится более отрицательным, когда принимаемые сигналы усиливаются.

Л. — Посмотри на схему диодного детектора (рис. 106), которую ты знаешь уже давно. Точка, о которой идет речь, является концом резистора *R*, обозначенным буквой *X*. Ток высокой частоты, выпрямленный диодом, создает на этом резисторе

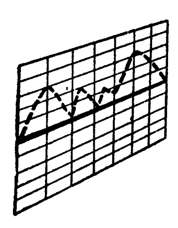


падение напряжения, причем потенциал точки X по отношению к корпусу имеет отрицательный знак. Это напряжение пропорционально средней интенсивности поданного на диод сигнала.

Н. — Я понял! Ты подаешь напряжение из точки X на сетки ламп усиления высокой или промежуточной частоты, причем лампы должны быть с переменной крутизной.

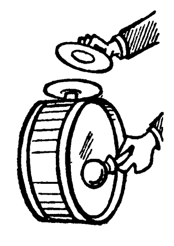
Когда сигнал увеличивается, отрицательное напряжение в точке X и соответственно на сетках ламп ВЧ и УПЧ каскадов возрастает, вследствие чего уменьшается усиление. Наоборот, когда из-за замирания сигнал ослабевает, отрицательное напряжение в точке X падает и усиление ламп высокой и промежуточной частоты повышается. В конце-концов такая система будет выравнивать все изменения в интенсивности сигналов и поддерживать постоянный уровень звукового сигнала, что нам и нужно.

Л. — Я вижу, что ты хорошо понял смысл автоматической регулировки усиления. Заметь, то здесь осуществляется регулировка по самому низкому уровню. Только на самых слабых сигналах используется весь резерв приемника по чувствительности. По мере того как сила сигналов растет, автоматическая регулировка усиления уменьшает усиление пропорционально увеличению силы приходящего сигнала.



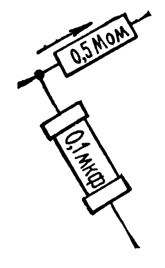
РАДИОПРИЕМНИК, КОТОРЫЙ МОЖЕТ НАСТРОИТЬ ГЛУХОЙ

Н. — Одно возражение, если позволишь. Предположи, что передается музыка и что ударили в барабан. Разве в этот момент АРУ не произведет мгновенное уменьшение усиления? Ведь, судя по твоему описанию работы АРУ, она должна «подавлять» в какой-то степени оттенки в громкости звучания.



Л. — Твое возражение, Незнайкин, веское. Чтобы система АРУ действовала не от мгновенных изменений продетектированного диодом напряжения и чтобы на лампы каскадов высокой и промежуточной частоты действовала только средняя величина модулированного сигнала, между точкой X и сетками ламп включают цепь задержки — сглаживающее устройство, пропускающее только постоянную составляющую. Это устройство (рис. 107) состоит из резистора R_1 и конденсатора C_1. Резистор препятствует мгновенному прохождению напряжения, а конденсатор сглаживает мгновенные изменения напряжения. Совместное действие системы R_1C_1 представляет собой некоторую аналогию с действием дросселя и конденсатора в фильтре питания.

Н. — Я вижу, что в любом приемнике с диодным детектированием достаточно прибавить резистор и конденсатор, чтобы получить автоматическую регулировку усиления. Ведь это совсем просто!

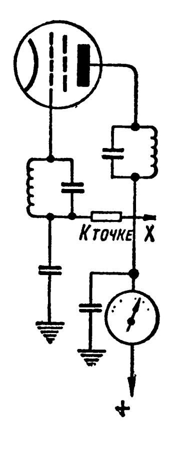


Л. — Я хочу отметить, что иногда напряжение для АРУ получают от отдельного диода (рис. 108). Второй диод находится в том же баллоне, что и первый (служащий для детектирования сигнала), причем используется один и тот же катод. Переменное напряжение подводится ко второму аноду через маленький конденсатор связи C_1. Выпрямленный ток создает на резисторе R_1 падение напряжения, которое (от точки X) подается через фильтр на сетки лампы с переменной крутизной.

Н. — Я предпочитаю схему с двойным диодом, так как она дает возможность разделить функции детектирования и регулировки громкости.

Л. — Мог бы ты, Незнайкин, ответить мне на один каверзный вопрос? Знаешь ли ты, как изменяется средний анодный ток лампы в каскаде высокой или промежуточной частоты, управляемом системой АРУ?

Н. — Конечно, когда сигнал увеличится, отрицательное напряжение в точке X возрастет и, следовательно, анодный ток ламп уменьшится.



Л. — Отлично. Заметь теперь, что то же произойдет, когда, вращая конденсатор переменной емкости, ты точно настроишься на какую-нибудь станцию. При этом напряжение на диоде будет наибольшим, а анодный ток регулируемых ламп — наименьшим. И если теперь в анодную цепь какой-либо из регулируемых системой АРУ ламп включить миллиамперметр, то по его показаниям мы сможем судить о точной настройке приемника на принимаемую волну.

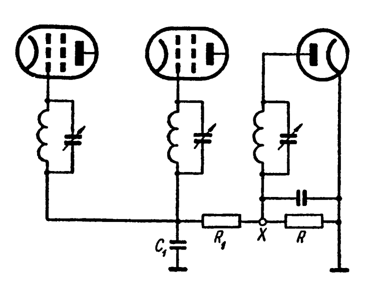


Рис. 107. Схема управления двумя лампами напряжением автоматической регулировки усиления, поданным из точки X через резистор R_1.

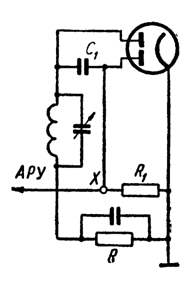
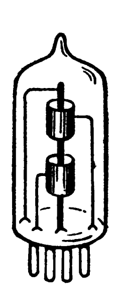


Рис. 108. Использование двойного диода позволяет разделить цепи нагрузки детектора и схемы АРУ.

Н. — Словом, с таким прибором даже глухой может точно настроить приемник?

Л. — Конечно, потому что этот прибор является визуальным индикатором настройки. Однако должен тебе сказать, что в приемниках для этой цели применяют не миллиамперметр, а специальную лампу, называемую электронно-световым индикатором настройки.



Н. — Уж не тот ли это зеленый глазок, который я видел в некоторых приемниках?

Л. — Конечно! Это и есть электронно-световой индикатор. Такая лампа, кроме катода, анода и сетки, имеет еще электрод, способный светиться под действием попадающих на него электронов. Если сетку этой лампы соединить с точкой X на нашей схеме, то световой индикатор будет указывать точность настройки.

БЕСЕДА ДЕВЯТНАДЦАТАЯ

Все усилия радиоспециалистов направлены на повышение качества воспроизведения. Однако уже давно избирательность и качество звучания казались несовместимыми. Приемник с хорошим качеством воспроизведения не был избирательным и наоборот... Но полосовые фильтры пришли на помощь, чтобы помирить враждующих соседей. Любознайкин рассказывает со своим обычным пылом о причинах конфликта между ними. Более ошеломленный, чем обычно, Незнайкин высказывается за переменную избирательность.

МАТЧ — ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ПРОТИВ КАЧЕСТВА ПЕРЕДАЧИ



Незнайкин. — Вчера вечером я был у одного друга, у которого очень чувствительный приемник. Мы прослушали большое количество передач; к несчастью, некоторые передачи сопровождались свистом. Откуда он берется?

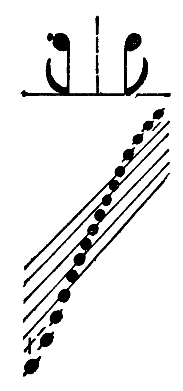
Любознайкин. — Свист является результатом взаимных помех между двумя станциями, частоты которых отстоят друг от друга слишком близко.

Н. — Значит, это то же явление, которое используется в супергетеродинах для преобразования частоты. Иначе говоря, между двумя соседними сигналами, имеющими маленькую разницу в частотах, получаются биения с частотой, равной разности частот этих сигналов.

Л. — Именно так. Поэтому установленный разнос частот передающих станций 9 *кгц* едва удовлетворителен, так как он позволяет получить для каждой станции ширину полосы лишь 4,5 *кгц* для осуществления музыкальной передачи.

Н. — Я что-то не вижу связи между разносом рабочих частот передатчиков и качеством передачи музыки.

Л. — Однако это чрезвычайно важно. Пока модуляция отсутствует, станция излучает только одну частоту, которая является ее несущей частотой. Но модуляция каким-либо звуком одного тона тотчас создает две другие частоты, расположенные симметрично по отношению к несущей частоте. Таким образом, передатчик, работающий на частоте 1 *Мгц* и модулированный звуком с частотой 400 *гц*, будет создавать, помимо несущей частоты, еще две другие: 1,0004 и 0,9996 *Мгц* (рис. 109). Ты видишь, что эти волны являются результатом сложения и вычитания несущей частоты и частоты модуляции.



Н. — Значит, в процессе модуляции высокой частоты ток низкой частоты производит настоящее преобразование частоты.

Л. — Правильно. Но если каждая частота создает вокруг несущей частоты две частоты, располагающиеся симметрично, то совокупность звуков музыки, частота колебаний которых доходит до 10 *кгц* (и даже больше), создает вокруг несущей две симметричные полосы частот, называемые боковыми полосами.

Н. — Значит, станция, передающая музыку, излучает, кроме несущей, еще по 10 *кгц* в обе стороны от нее. Например, для передатчика, работающего на несущей частоте 1 *Мгц*, боковые полосы частот будут занимать спектр от 0,99 до 1,01 *Мгц*. Я правильно понял?

Л. — Это совершенно верно. Но если бы каждый передатчик

занимал в пространстве полосу частот 20 *кгц*, то не хватило бы места для размещения необходимого числа передатчиков.

По международному соглашению, за исключением коротких волн, где больше свободы, ширину боковых полос ограничили 4,5 *кгц*.

Таким образом, каждый передатчик занимает полосу частот 9 *кгц*. Это как раз и дает возможность получить между двумя несущими частотами разнос в 9 *кгц* для того, чтобы два передатчика не мешали друг другу (рис. 110) при условии, конечно, что приемник будет иметь избирательность, достаточную для разделения 9 *кгц*.

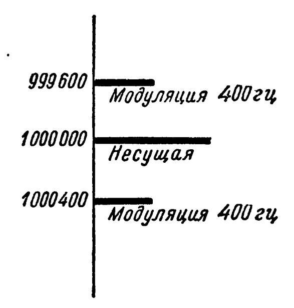


Рис. 109. Модуляция несущей частоты 1 *Мгц* частотой 400 *гц*.

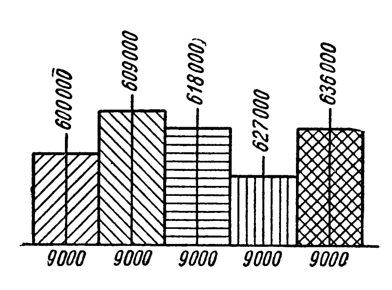
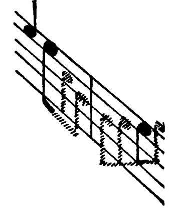


Рис. 110. Спектры частот передатчиков. Несущие частоты разнесены на 9 *кгц*. Модулирующие частоты не превышают 4,5 *кгц*.



Н. — Я думаю, что, имея достаточное количество настроенных контуров, можно сделать такой приемник, который принимал бы колебания только одной частоты.

Л. — Это было бы напрасной тратой времени! Отдаешь ли ты себе отчет, Незнайкин, что такой приемник мог бы принимать всего одну какую-нибудь ноту. Разве можно испытать удовольствие от исполнения, например Пасторальной симфонии, если из всего богатства звуков ты услышишь только ми-бемоль третьей октавы?

Н. — Конечно, нет. Я вижу, что приемник должен пропустить без искажений всю полосу боковых частот 9 *кгц*, чтобы воспроизвести всю гамму передаваемых звуков.



Л. — Но нельзя, чтобы он пропускал более широкую полосу частот. Иначе возникнут помехи из-за биений с частотами соседних станций. И вот ты перед лицом этой ужасной дилеммы, которая противопоставляет качество передачи и избирательность: чем меньше избирательность, тем выше качество воспроизведения.

Н. — Если уж выбирать между избирательностью и качеством звучания, то я высказываюсь за второе.

ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТР ПРИМИРЯЕТ ПРОТИВНИКОВ

Л. — К чему добиваться пра́вильного воспроизведения всех частот, если эту передачу будет покрывать свист помехи?

Н. — Но разве не существует возможности полностью про-

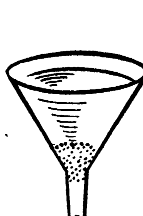
пустить полосу 9 *кгц* и не пропустить больше ничего другого вне этой полосы?

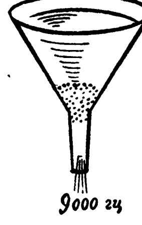
Л. — Да, по крайней мере с достаточным приближением. Однако осуществить это при помощи одиночного колебательного контура нельзя. Его р е з о н а н с н а я к р и в а я...

Н. — Что это такое? Ты никогда об этом не говорил.

Л. — Так называют кривую, которая показывает, как изменяется в колебательном контуре интенсивность колебаний в зависимости от частоты. Очевидно, что наибольшая амплитуда колебаний в контуре будет в момент резонанса. По мере изменения частоты интенсивность колебаний в контуре более или менее резко падает в зависимости от сопротивления контура по высокой частоте.

Рис. 111. Резонансная кривая контура с большим затуханием; плохая избирательность — хорошее качество воспроизведения.





Если контур имеет большое сопротивление или, как говорят, обладает большим затуханием, то его резонансная кривая будет иметь более пологую форму (рис. 111) и сможет пропустить бо́льшую полосу частот. Но наряду с этим он будет и малоизбирательным.

Если, наоборот, контур имеет очень малое затухание (рис. 112), то он пропускает только узкую полосу частот. При высокой избирательности он не пропустит всю совокупность боковых частот. Идеальная резонансная кривая должна была бы иметь форму прямоугольника с шириной 9 *кгц*. Контур с такой кривой пропускал бы полосу частот только в 9 *кгц* и ничего другого.

Н. — Если ты говоришь, что такая кривая является идеальной, значит ее невозможно получить?

Л. — Да, но к ней можно приблизиться с помощью так называемых п о л о с о в ы х ф и л ь т р о в.

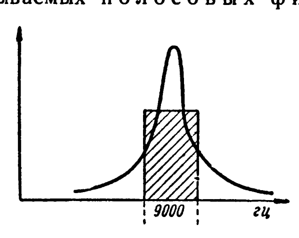


Рис. 112. Контур с малым затуханием; хорошая избирательность — плохое качество воспроизведения.

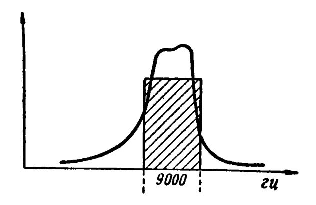
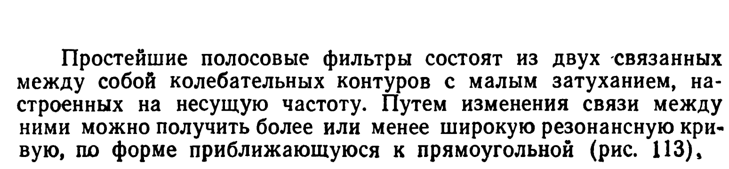


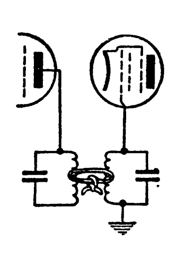
Рис. 113. Резонансная характеристика полосового фильтра, сочетающая хорошую избирательность с хорошим качеством воспроизведения.



Простейшие полосовые фильтры состоят из двух связанных между собой колебательных контуров с малым затуханием, настроенных на несущую частоту. Путем изменения связи между ними можно получить более или менее широкую резонансную кривую, по форме приближающуюся к прямоугольной (рис. 113),

Н. — А как осуществить связь между двумя колебательными контурами, составляющими полосовой фильтр?

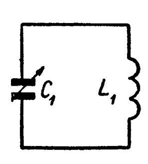
Л. — Самый простой способ — соединить их индуктивно, что и является трансформатором с настроенными первичной и вторичной обмотками (рис. 114), или осуществить связь при помощи конденсатора малой емкости (рис. 115).



В более сложных фильтрах связь осуществляется через реактивное сопротивление (рис. 116).

Н. — Каким же образом общее сопротивление может служить элементом связи?

Л. — Ток, протекающий в первом контуре, создает на этом сопротивлении падение напряжения, которое приложено ко второму контуру и возбуждает в нем ток. Если сопротивление



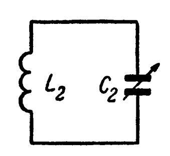


Рис. 114. Полосовой фильтр с индуктивной связью.

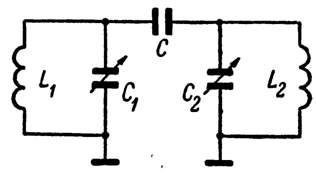
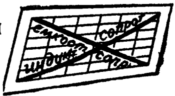


Рис. 115. Фильтр с емкостной связью.



мало, то и развиваемое на нем напряжение будет малым, что равноценно слабой связи.

Н. — Какой тип реактивного сопротивления применяется чаще всего?

Л. — Чаще всего применяется емкостное (рис. 117) и реже — индуктивное сопротивление (рис. 118).

Чтобы получить малое емкостное сопротивление, надо включать конденсатор достаточно большой емкости, тем большей, чем меньше частота колебаний.

Н. — Да я вспоминаю, что емкостное сопротивление уменьшается с повышением частоты и увеличением емкости. Так как

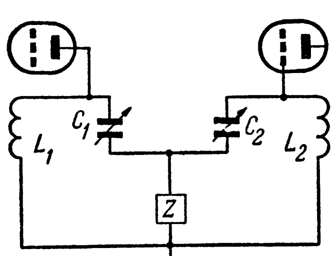


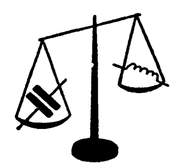
Рис. 116. Фильтр со связью через общее реактивное сопротивление Z.

Рис. 117. Фильтр с общим емкостным сопротивлением.

индуктивное сопротивление ведет себя диаметрально противоположно, я полагаю, что в фильтрах с индуктивным сопротивлением для получения слабой связи надо включать катушку с малой индуктивностью, тем меньшей, чем выше частота.

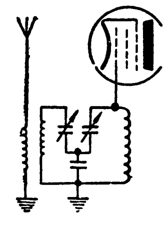
Л. — Ты начинаешь рассуждать логически, дружище. Постарайся же разрешить такую несложную задачу. Имеются два фильтра: один — со связью через емкостное, а другой — через

индуктивное сопротивление. Пусть настройка обоих связанных контуров фильтра изменяется от низких частот к высоким. Будет ли ширина полосы пропускания каждого из этих фильтров оставаться постоянной?



Н. — Конечно, нет. В фильтре с емкостной связью при увеличении частоты емкостное сопротивление, а следовательно, и связь уменьшаются, вследствие чего полоса пропускания будет сужаться; в фильтре же со связью через индуктивное сопротивление с увеличением частоты связь увеличивается и полоса расширяется.

Л. — Браво! Но обрати внимание, что здесь имеется одно очень досадное обстоятельство. Представь себе, что фильтр с емкостной связью используется в качестве элемента связи между двумя каскадами усиления высокой частоты приемника. Предположи также, что на определенной частоте фильтр имеет установленную полосу частот 9 *кгц*. Если ты настроишь приемник на более короткие волны, то полоса пропускания уменьшится, избирательность повысится и качество воспроизведения ухудшится.



Н. — Я думаю, что имеется очень простое средство, которое позволит поддержать постоянство полосы пропускания для всего диапазона настройки. Для этого в качестве сопротивления связи достаточно использовать конденсатор и катушку, включенные

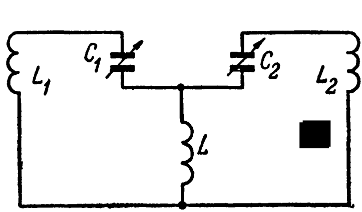


Рис. 118. Фильтр с общим индуктивным сопротивлением.

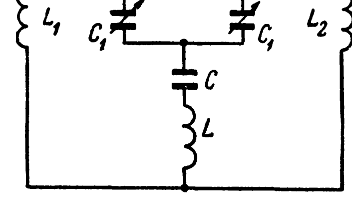
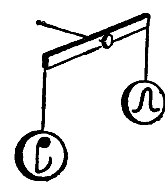


Рис. 119. Фильтр с общим индуктивным и емкостным сопротивлениями.

последовательно (рис. 119). Противоположный характер их сопротивлений будет взаимно компенсировать изменение полосы пропускания.



Л. — До тебя с такими фильтрами уже работал один ученый. К сожалению, дело обстоит значительно сложнее, так как нужно учитывать разность фазовых сдвигов в емкости и индуктивности. Имеется, к счастью, другой способ преодолеть эту неприятность. Для этого достаточно использовать полосовые фильтры только в каскадах усиления промежуточной частоты супергетеродинов.

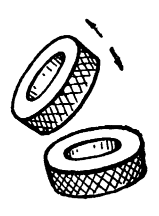
Н. — Клянусь сопротивлением, правильно! В усилителе промежуточной частоты все контуры настроены на одну постоянную частоту, и мы можем не бояться изменения ширины полосы пропускания.

Л. — Однако следует заметить, что в преселекторах супергетеродинов, включаемых между антенной и первой лампой, для подавления помехи по зеркальному каналу пользуются часто полосовыми фильтрами с емкостной связью. В этом случае речь идет о подавлении частоты, очень удаленной от частоты настройки. Поэтому полоса пропускания фильтра может быть без каких-либо осложнений значительно шире 9 *кгц*.

НЕЗНАЙКИН ВЫСКАЗЫВАЕТСЯ ЗА ПЕРЕМЕННУЮ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ

Н. — Теперь, Любознайкин, предположи, что мы имеем приемник с полосой пропускания 9 *кгц* и хотим принимать слабые сигналы удаленной радиостанции, частота которой отстоит на 9 *кгц* от частоты, на которой работает местный мощный передатчик. Не помешает ли последний приему удаленной станции?

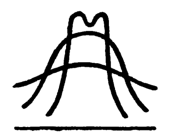
Л. — Так как резонансные кривые фильтров только приближаются к идеальной прямоугольной форме, местный передатчик будет, очевидно, мешать приему. Чтобы в таких условиях принимать сигнал без помех, нужен приемник с большей избирательностью; его полоса пропускания должна быть меньше 9 *кгц*. Таким образом, частично в ущерб качеству передачи можно добиться разборчивого приема слабо слышимой станции.



Н. — Я предпочитаю совсем не принимать некоторые станции, если при этом высокая избирательность окажется причиной плохого качества воспроизведения.

Л. — К счастью, можно совмещать свойства, казалось бы, несовместимые, делая избирательность переменной. При этом прием мощных близких станций, когда помехи отсутствуют, можно производить при пониженной избирательности. Наивысшее качество воспроизведения будет сочетаться с отсутствием помех.

Н. — Это поразительно! Но как же осуществляется переменная избирательность?



Л. — Сегодня, Незнайкин, ты задаешь детские вопросы. Чтобы сделать ширину полосы пропускания фильтра переменной, надо сделать регулируемой связь между контурами. Так, в фильтрах с индуктивной связью меняют расстояние между катушками, а в фильтрах с общим сопротивлением связи применяют переменные конденсаторы или индуктивности. Правда, при этом принимаются некоторые меры предосторожности против возможной расстройки контуров, связанной с изменением величины связи.

Н. — Ну, мой собственный приемник обязательно будет с переменной избирательностью!



БЕСЕДА ДВАДЦАТАЯ

В этой беседе будут рассмотрены различные ограничения, возникающие в процессе модуляции звуковыми частотами. Модуляция ограничена как по частоте, так и по глубине. Любознайкину представляется случай еще раз показать, как следует побеждать препятствия. Это приведет его к изложению основ частотной модуляции.

50 *см* ШИРЕ 400 *м*!

Незнайкин. — Я очень удручен, Любознайкин.

Любознайкин. — Чем же, дружище?

Н. — В последней беседе ты показал, насколько ограничена полоса частот, воспроизводимых в радиовещании. Я считаю недопустимым калечить таким образом музыку. Не предпочтительнее ли уменьшить количество передатчиков, расширив соответственно боковые полосы?



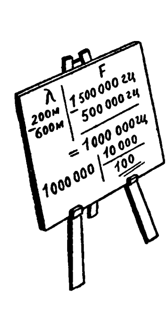
Л. — Это, безусловно, было бы лучше, но тут необходимо международное соглашение или поиски других технических решений.

Н. — Я не могу понять, на что ты намекаешь.

Л. — Можно расширить область используемых несущих частот передатчика и вести передачи в метровом диапазоне волн, т. е. на волнах от одного до нескольких метров. Этот диапазон значительно свободнее, и в этом случае удается не искажать музыкальные произведения.

Н. — Должен сознаться, что я не вижу, почему в этом небольшом интервале в несколько метров можно чувствовать себя свободнее, чем в обширном диапазоне средних волн от 200 до 600 *м*, иными словами в интервале 400 *м*.

Л. — Вот, бедный Незнайкин, куда приводит печальная привычка характеризовать диапазоны длинами волн. Мне жалко тебя. А попробуй-ка сосчитать в герцах.



Н. — Нет ничего проще. Волне 200 *м* соответствует частота 1 500 000 *гц*, а волне 600 *м* — частота 500 000 *гц*. Таким образом, всему диапазону соответствует интервал 1 000 000 *гц*.

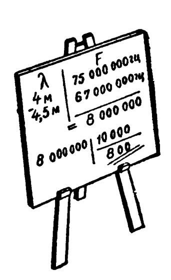
Л. — Примем для упрощения расчетов, что для каждого передатчика отведена полоса частот (или, как говорят, канал) 10 000 *гц*. Сколько всего передатчиков можно разместить в этом интервале?

Н. — Очень просто: если 1 000 000 разделить на 10 000, получится 100. Таким образом, без взаимных помех в диапазоне средних волн можно разместить лишь 100 передатчиков. Общее же их количество намного превышает эту цифру!

Л. — Это так, потому что несколько передатчиков может работать одновременно на одной волне, если программа у них одинакова и несущие частоты точно синхронизированы. Программы могут различаться лишь в том случае, когда мощность передатчиков незначительна и они далеко отстоят один от другого. Все же в средневолновом диапазоне можно разместить лишь 100 каналов.

Н. — Это немного. Но разве в метровом диапазоне получается больше?

Л. — Проделай те же расчеты и вычисли, сколько каналов по 10 000 *гц* можно вместить, например, между волнами 4 и 4,5 *м*?

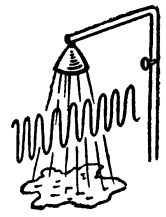


Н. — Что ты хочешь получить от этого жалкого интервала 0,5 *м*? Впрочем, поскольку в наше время приходится соревноваться с самим Эйнштейном, я проделаю эти вычисления. Волне 4 *м* соответствует частота 75 000 000 *гц*, а 4,5 *м* — частота 67 000 000 *гц*. Таким образом, интервал составляет 8 000 000 *гц*... Возможно ли это! Там разместится 800 каналов по 10 000 *гц*!.. Я, должно быть, ошибся. Неужели эти 0,5 *м* настолько шире 400 *м* средневолнового диапазона?

Л. — Нет, дружище, в твои расчеты не вкрались ошибки. Вычисления показывают, что в метровом диапазоне имеется обширный участок частот, где можно разместить большое число передатчиков без ограничения боковых модуляционных полос.

ОБРАТНАЯ СТОРОНА МЕДАЛИ

Н. — Потрясающе! Над этим надо было бы, конечно, задуматься. Но в таком случае я надеюсь, что диапазон средних волн будет заброшен и все передатчики перекочуют в эту обширную великолепную область метровых волн, где они расцветут на свободе к вящему удовлетворению истинных ценителей музыки.

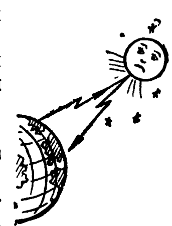


Л. — Какой лирический взлет!.. К великому сожалению, я должен, в который уже раз, обдать холодным душем столь пылкий энтузиазм. Ведь метровые волны, увы, обладают громадным недостатком. Дальность их распространения крайне незначительна.

Н. — Вот неудача! Нашлись, наконец, волны, не ограничивающие спектра звуковых частот. Почему же нужно, чтобы они плохо распространялись?

Л. — Потому что они расположены по диапазону ближе к световым колебаниям — также электромагнитным, но с еще более короткой длиной волны — и обладают почти такими же свойствами. Вместо того, чтобы отражаться от верхних ионизированных слоев атмосферы, возвращающих на землю, подобно зеркалу, более длинные волны, метровые волны проникают через них без какой-либо надежды на возвращение.

Н. — Но в таком случае их можно использовать для связи с обитателями других планет?



Л. — Конечно, при условии, что таковые существуют... Но и без столь далеко идущих целей удалось послать на Луну эти волны и они вернулись на Землю после отражения от ее поверхности.

Н. — И сколько времени заняло такое путешествие в оба конца?

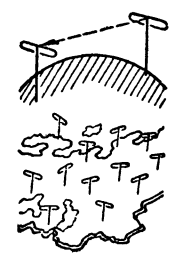
Л. — Около двух с половиной секунд. Метровые волны отличаются строго прямолинейным характером распространения. В то время как более длинные волны охотно огибают земной шар, что позволяет им распространяться вдоль земной поверхности на большие расстояния, метровые волны, прямые, как световые лучи, не заходят за линию горизонта.

Н. — В конечном счете, если я правильно понял, нужно, чтобы была прямая видимость между передающей и приемной антеннами.

Л. — Вот именно. Поэтому антенны передатчиков, работающих в метровом диапазоне, стараются поднять как можно выше. Несмотря на это, дальность передачи не превышает сотни километров.

Н. — И, следовательно, для покрытия большой территории нужно много передатчиков.

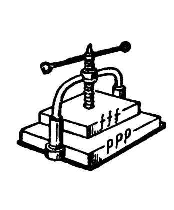
Л. — Увы, да. В частности, это относится к телевидению, в котором тоже (как ты узнаешь позже) используется метровый диапазон волн.



ОГРАНИЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА

Н. — Но, по-видимому, небольшая дальность действия передатчиков метрового диапазона не является неустранимым затруднением. Я надеюсь, что было выделено достаточно средств для постройки нужного количества передатчиков с целью воспроизведения качества звучания без каких-либо ограничений.

Л. — Этого недостаточно. В метровом диапазоне отпадает ограничение по полосе частот, но остается другое, присущее са-



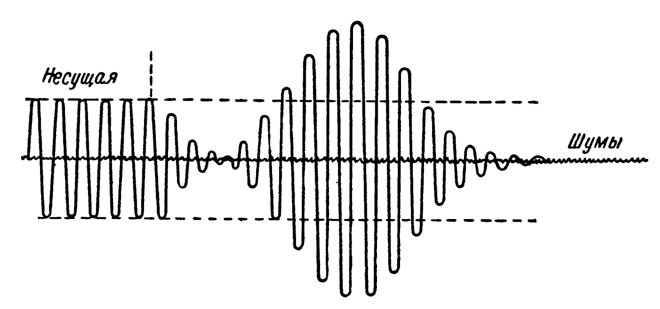


Рис. 120. Пределы изменений амплитуды модулированного колебания ограничены по максимуму двойным значением несущей и по минимуму уровнем шумов.



мому процессу той системы модуляции, которую мы до сих пор изучали. Это ограничение по *динамическому диапазону*.

Н. — А что это такое?

Л. — Так называется соотношение между наибольшим и наименьшим значениями громкости звучания. Фортиссимо большого симфонического оркестра может быть в 10 000 раз громче, чем пианиссимо скрипичного соло. При *амплитудной модуляции* невозможно передать такое отношение интенсивностей.

Н. — Но почему же?

Л. — В направлении увеличения громкости невозможно увеличить значение несущей частоты больше чем в два раза (рис. 120).

Н. — Это понятно. Но если уменьшать значение несущей в требуемом отношении, то можно воспроизвести весь динамический диапазон?

Л. — Увы, дружище, и в этом направлении имеется ограничение, определяемое *шумами*. Речь идет о шумах, которые ты слышишь в отсутствие передачи (или в паузах) и которые обусловлены рядом причин.

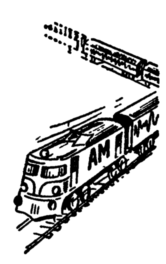
Н. — Я полагаю, что атмосферные и промышленные помехи играют тут немалую роль.

Л. — Безусловно. Однако, помимо внешних причин, имеются и другие, свойственные самой передающей и приемной аппаратуре. Эти шумы возникают как вследствие нерегулярности электронной эмиссии, так и из-за тепловых флуктуаций в сопротивлениях и колебательных контурах.

Н. — Это напоминает мне зернистость фотоэмульсии, ограничивающую возможность увеличения снимков.

Л. — Аналогия правильна.

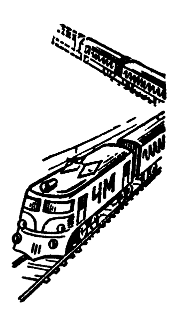
Н. — Если я хорошо понял, то наименьшее значение модулированного тока не должно быть ниже уровня шумов, чтобы не утонуть в них.



Л. — Поздравляю тебя, ты правильно сформулировал. Поэтому приходится сжимать динамический диапазон, чтобы фортиссимо не выходило за пределы двойной амплитуды несущей, а пианиссимо не опускалось ниже уровня шумов.

Н. — Веселая история! Найден способ сохранить в неприкосновенности полосу передаваемых частот, но при этом нет возможности спасти нюансы звучания, потому что отношение интенсивностей грубо искажается! Как жалко!.. И подумать только, что еще имеют смелость говорить о высококачественном звучании приемников!..

ЧАСТОТА ПЕРЕМЕННА. АМПЛИТУДА ПОСТОЯННА



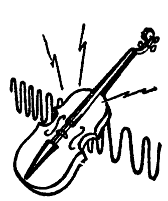
Л. — Однако в ряде случаев это соответствует действительности, так как при этом имеют в виду **частотную модуляцию**, не ограниченную по динамическому диапазону.

Н. — Я был уверен, что по традиции ты тщательно воздвигнешь препятствие и потом сам же сметешь его одним щелчком. Я тебя хорошо изучил, Любознайкин. Но что это такое, частотная модуляция?

Л. — До сих пор мы рассматривали лишь один из способов передвижения низкочастотного пассажира в высокочастотном поезде, т. е. один из способов модуляции несущей частоты звуковыми частотами. Это **амплитудная модуляция**, в процессе которой амплитуда несущей частоты изменяется в соответствии с изменением напряжения низкой частоты.

Н. — Не станешь же ты утверждать, что в процессе частотной модуляции изменяется частота несущей в зависимости от значений низкой частоты?

Л. — Однако это действительно так. Вместо воздействия на амплитуду несущей модулирующее напряжеие изменяет ее частоту (рис. 121). Чем больше мгновенное значение модулирующего напряжения, тем выше мгновенное значение несущей частоты.



Н. — И можно отметить, что амплитуда несущей частоты при этом не меняется.

Л. — Да. В этом заключается одно из главных достоинств частотной модуляции, или, как сокращенно говорят, ЧМ. Постоянство амплитуды обеспечивает более высокую энергетическую отдачу передатчика, работающего всегда в режиме максимальной мощности. При приеме уровень сигнала всегда значительно выше уровня шумов. По сравнению с амплитудной модуляцией (сокращенно АМ) увеличивается реальная дальность

действия, так как передача идет на неизменном наивысшем уровне излучаемых колебаний.

Н. — Таким образом, в этой системе модуляции несущая частота меняется в такт с низкой частотой. Но как передаются относительные изменения интенсивности модулирующего напряжения?

Л. — Степенью отклонения частоты от того значения несущей, которое она имеет в отсутствие модуляции. При слабом

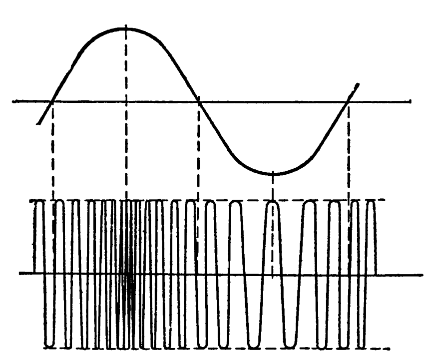


Рис. 121. При частотной модуляции амплитуда несущей остается неизменной, но ее частота изменяется вокруг некоторого среднего значения в такт со звуковой модуляцией.

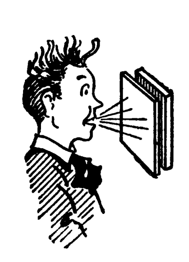
звучании отклонение (или девиация) частоты также невелико. Мощные же аккорды вызывают значительную девиацию частоты.

Н. — Следовательно, ритм девиации несущей частоты будет определяться частотой модулирующего напряжения, а величина девиации — амплитудой модулирующего напряжения.

Л. — Ты хорошо понял, Незнайкин, принцип ЧМ.

Н. — И так как нет причин, ограничивающих величину девиации частоты, можно, мне кажется, сохранить истинное соотношение интенсивностей или, иными словами, правильно воспроизвести динамический диапазон звучания.

Л. — Безусловно. Именно поэтому для частотной модуляции используется метровый диапазон волн, так как здесь полоса частот не ограничена.



ПРОСТЕЙШИЙ ЧМ ПЕРЕДАТЧИК

Н. — Частотная модуляция необыкновенно привлекательна. Я хочу изучить ее возможно глубже. И для начала я хотел бы знать, как устроен ЧМ передатчик.

Л. — Твоя любознательность не имеет границ, дружище. Однако я постараюсь ее удовлетворить и покажу, как можно соорудить опытный маломощный передатчик с помощью электростатического микрофона.

Н. — А что это еще за устройство?

Л. — Просто-напросто конденсатор из двух обкладок, одна из которых неподвижна и состоит из массивной металлической пластины, в то время как другая очень эластична и является тонкой металлической мембраной, натянутой параллельно первой обкладке.

Н. — Я догадываюсь, что это устройство является конденсатором, емкость которого изменяется под воздействием звуковых колебаний, заставляющих вибрировать эластичную мембрану.

Л. — От тебя ничего не скроешь, дружище. Ты это так хорошо понял, что тебя не удивит включение такого микрофона

параллельно колебательному контуру лампового генератора (рис. 122). Изменение емкости микрофона вызовет соответствующее изменение частоты лампового генератора.

Н. — И мы получим частотно-модулированные колебания. Вот не ожидал, что это так просто!

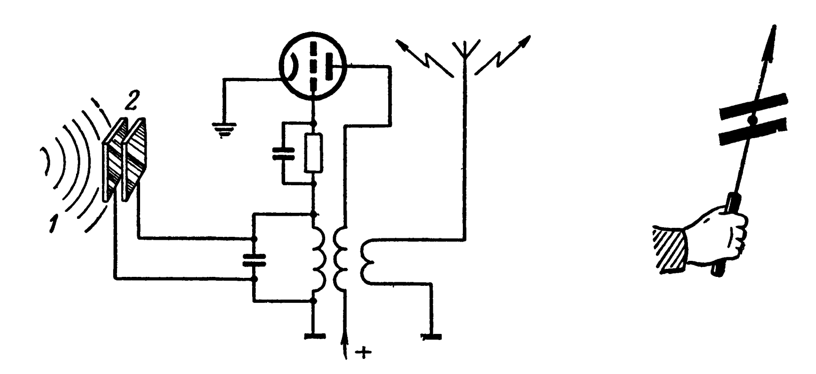


Рис. 122. Схема простейшего частотно-модулированного передатчика. Частота генерируемых колебаний изменяется с помощью электростатического (конденсаторного) микрофона, включенного параллельно емкости контура.

1 — звуковые колебания; *2* — микрофон.

Л. — Схемы настоящих ЧМ передатчиков значительно сложнее. Но это не имеет для тебя особого значения.

Н. — Конечно. Но меня очень интересует способ приема этих необычных колебаний.

Л. — Потерпи до следующей беседы, и мы рассмотрим этот вопрос.

○

БЕСЕДА ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ

После изучения принципов передачи с частотной модуляцией наши юные друзья рассмотрят различные особенности ЧМ приемников, в частности каскадную схему, дискриминатор, детектор отношений, ограничитель и пр...

ВСЕ ОТНОСИТЕЛЬНО

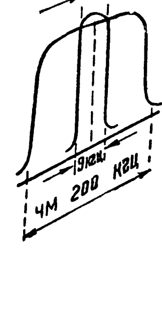


Незнайкин. — Все, что ты объяснил в последний раз о частотной модуляции, не давало мне покоя. Все эти понятия довольно неопределенны. Различным интенсивностям низкой частоты соответствует более или менее значительная девиация несущей частоты. А частоте модулирующего напряжения соответствует... Как это сказать?.. частота изменения частоты несущей?

Любознайкин. — Хотя ты и не очень изящно излагаешь свои мысли, но говоришь вполне здраво.

Н. — Я думал также о способах приема ЧМ колебаний. Полагаю, что обычные радиоприемники, предназначенные для амплитудной модуляции, не годятся для этой цели. Ведь если продетектировать такую модулированную высокую частоту, у которой все амплитуды одинаковы, получится постоянное напряжение, а не низкочастотное модулирующее. Прав я или нет?

Л. — Безусловно прав. Обычные схемы детектирования при ЧМ модуляции не применяются. Но это не единственная особенность ЧМ приемников.



Н. — Я не вижу причин отказа от классической схемы супергетеродина, если не считать детекторного каскада.

Л. — Супергетеродин является схемой, повсеместно принятой для частотной модуляции. Но и сама схема и ее элементы существенно отличаются от классических. Ты, кажется, забыл, что передача осуществляется в метровом диапазоне волн, т. е. на частотах порядка сотен миллионов герц, и что, кроме того, боковые полосы простираются в стороны от несущей на сотню тысяч герц вместо тощих 4500 *гц* при АМ модуляции.

Н. — Правильно, об этом я не подумал. Следовательно, нужно предусмотреть как в высокой, так и в промежуточной частоте колебательные контуры с полосой пропускания порядка 200 *кгц*.

Л. — Это так. Даже до 300 *кгц*. И так как это было бы крайне трудно осуществить на промежуточной частоте 465 *кгц*, для усилителя промежуточной частоты выбрана частота 8,4 *Мгц* (в телевидении иногда 6,5 *Мгц*).

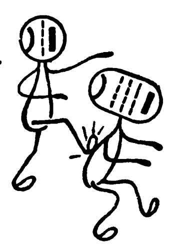
Н. — Мне это ясно. Для трансформатора промежуточной частоты, настроенного на 465 *кгц*, полоса пропускания 300 *кгц* составляет больше половины резонансной частоты, в то время как для 8,4 *Мгц* та же полоса пропускания не превышает 4%.

Л. — Все относительно... Но каждая медаль имеет обратную сторону. При усилении широкой полосы частот нельзя получить

большой коэффициент усиления. Поэтому приходится применять два и даже три каскада промежуточной частоты.

Н. — А это не освобождает от необходимости применения предварительного усиления по высокой частоте?

Л. — Ни в какой степени. Следует рекомендовать применение одного каскада усиления высокой частоты перед смесителем. Но обычные схемы усиления для столь высоких частот недостаточно удовлетворительны. Не очень пригодны для этого и пентоды вследствие повышенного уровня их шумов. Несмотря на более низкий коэффициент усиления, лучше применять триоды.



Н. — Все качества несовместимы!

Л. — Не изрекай, Незнайкин. И не забывай, что триод обладает очень серьезным недостатком, о котором мы много говорили.

НЕ ГЛУПОСТЬ ЛИ ЭТО?

Н. — Ты говоришь о пресловутой емкости катода или сетки относительно анода, которую уменьшают с помощью экранирующей сетки.

Л. — Вот именно. Поскольку мы не хотим прибегать ни к тетродам, ни к пентодам, необходимо известное ухищрение для компенсации действия этой емкости. Оно заключается в том, что

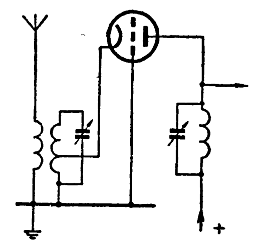


Рис. 123. Схема усилителя с заземленной сеткой.

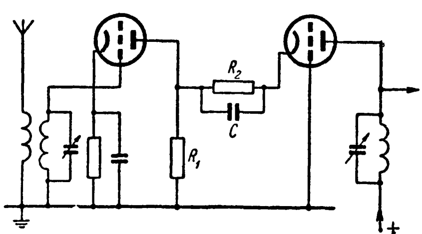
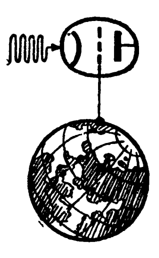


Рис. 124. Схема каскодного усилителя. Включение резистора R_1 необязательно.



управляющей сетке поручается роль экранирующей. Для этого на сетке поддерживается постоянный потенциал, равный потенциалу отрицательного вывода источника питания (заземления). Такая схема называется *схемой с заземленной сеткой* (рис. 123).

Н. —Но это чистейшая глупость! При заземлении сетки ты уже не можешь подать на нее напряжение, подлежащее усилению.

Л. — Совершенно очевидно. Поэтому напряжение подают на катод, как это отчетливо видно на схеме.

Н. — Час от часу не легче! Значит, катод, если я понял, становится управляющим электродом?..

Л. — Не все ли равно? Для управления анодным током важно ведь только, чтобы изменялась разность потенциалов между сеткой и катодом. Совершенно безразлично, меняется ли напряжение на сетке относительно катода или напряжение на катоде относительно сетки.

Н. — Действительно, ты прав. Схема с заземленной сеткой не так уж отличается от обычных схем. Совсем как в семействе моих соседей...

Л. — Какую еще глупость ты собираешься изречь?



Н. — Это не глупость. У моих соседей мать не ладит с дочерью. То одна из них нападает на другую, хотя бы та и была мирно настроена, то наоборот. Но независимо от инициатора очередной ссоры отец семейства каждый раз обрушивается на обеих, так как он играет роль усиленного анодного тока.

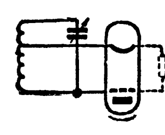
Л. — Ты это придумал специально для данного случая...

Н. — Меня интересует одно обстоятельство в схеме. Почему на катод подается часть напряжения от вывода на катушке контура, а не все напряжение колебательного контура?

Л. — Потому что в схеме с заземленной сеткой входное сопротивление лампы весьма незначительно. В случае включения всего колебательного контура в цепь катода его затухание значительно увеличилось бы и коэффициент усиления упал бы. Поэтому напряжение на катод снимают с части контура. Существует, однако, другой способ, позволяющий избежать увеличения затухания входного контура. Ты не догадываешься?

Н. — Нет, я пассую.

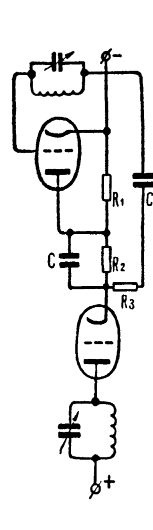
Л. — Достаточно включить перед триодом с заземленной сеткой другой усилительный триод с обычной схемой включения (рис. 124).



КАСКОД — ДВА КАСКОДНО ВКЛЮЧЕННЫХ КАСКАДА

Н. — Не издеваешься ли ты надо мной, Любознайкин? Такая схема не может работать, так как нагрузка первого каскада — резистор — заземлена, иными словами, присоединена к минусу источника питания. Поэтому на аноде лампы отсутствует положительное напряжение. И хоть становись на колени перед таким триодом, который по-твоему (какая самоуверенность!) включен по обычной схеме, он не только не усилит, но даже не передаст на следующую лампу входное напряжение.

Л. — Это ты слишком самоуверен. Такая схема, называемая каскодной, незначительно отличается от обычной схемы, столь рьяно тобой защищаемой. Вопреки твоему утверждению на анод первой лампы подается положительное напряжение и схема хорошо работает.



Н. — Откуда же берется напряжение?

Л. — Из анодной цепи второй лампы, присоединенной к плюсу источника питания.

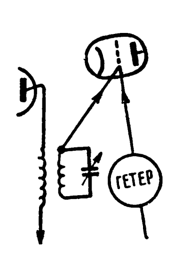
Н. — Значит, в качестве анодного напряжения первой лампы используется падение напряжения на резисторе R_1 в цепи катода второй лампы? Этот резистор включен последовательно с резистором R_2, шунтирующим конденсатор связи C?

Л. — Конечно. Оба эти резистора и сопротивление промежутка анод — катод второй лампы соединены последовательно и образуют делитель напряжения, включенный между плюсом и минусом источника питания. Поэтому точка соединения резисторов R_1 и R_2, куда присоединен и анод первой лампы, находится под положительным потенциалом. Он достаточно велик, так как сопротивление резистора R_1 составляет около 0,5 *Мом,* а сопротивление R_2— несколько сотен ом

Н. — Каюсь! Я мог бы это и сам сообразить. Вдобавок можно отметить, что разности потенциалов на электродах второй лампы с заземленной сеткой правильно распределены, так как ее катод находится под положительным потенциалом и, следовательно, сетка отрицательна относительно катода. Все к лучшему в этом лучшем из миров!

ЗАБЫТАЯ СХЕМА ВОЗРОЖДАЕТСЯ

Л. — Это возможно. Однако из-за твоих беспорядочных расспросов я был вынужден начать изучение ЧМ приемника с промежуточной частоты, затем перейти к высокой частоте, что явно нелогично.



Н. — Значит, можно кое-что рассказать и о смесителе?

Л. — Безусловно, так как на столь высоких частотах обычные смесители мало эффективны. За редкими исключениями, в смесителях ЧМ приемников отказались как от гептодов, так и от триод-гексодов (в которых входной сигнал и напряжение от гетеродина подаются на разные сетки) и вернулись к старой схеме с отдельным гетеродином. При этом входной сигнал и напряжение гетеродина подаются на одну и ту же сетку (рис. 125).

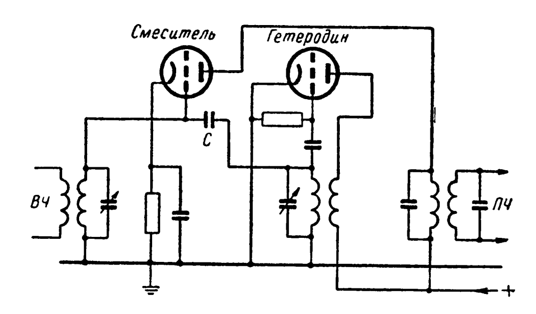
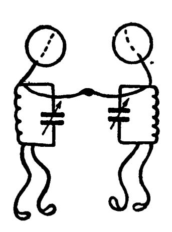


Рис. 125. В смесителе на двух триодах приходящие колебания и колебания гетеродина подаются на одну и ту же сетку.



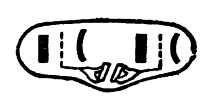
Н. — Ну, уж тут ты явно издеваешься надо мною. Полагаешь ли ты, что я забыл все описанные тобою недостатки этой схемы? Я вспоминаю, что главным пороком является опасность увлечения частоты гетеродина приходящим сигналом.

Л. — Действительно, иногда очень трудно избежать такой игры этих двух колебаний, полностью нарушающей работу смесителя.

Н. — Зачем же применять схему со столь серьезным недостатком в ЧМ приемниках?

Л. — Потому что разнос частот в несколько мегагерц (определяемый промежуточной частотой) достаточен, чтобы синхронизации не возникало.

Н. — Таким образом, в схеме используются два триода. Один из них является смесителем. На его сетку подаются предварительно усиленные входные сигналы и через конденсатор связи *C* напряжение гетеродина.



Л. — Именно так. Часто используют двойной триод. В этом случае отпадает необходимость в конденсаторе связи *C*, так как междуэлектродные емкости двух секций двойного триода создают достаточную связь.

Н. — Нельзя ли, однако, применить пентод в качестве смесителя? Это увеличило бы его коэффициент усиления.

Л. — Так иногда и поступают. Правда, при этом возрастают шумы. Все та же обратная сторона медали...

В ЦАРСТВЕ СИММЕТРИИ

Н. — После того как мы разобрали предварительный усилитель высокой частоты, смеситель и усилитель промежуточной частоты, остались лишь детектор и усилитель низкой частоты.

Л. — В ЧМ приемниках нужно говорить о ч а с т о т н о м д е т е к т о р е (демодуляторе). Частотное детектирование может быть осуществлено с помощью различных схем.

Н. — Очевидно, их роль независимо от схемы сводится к преобразованию девиации частоты в изменения амплитуды.

Л. — Ты не ошибся. Это достигается в результате применения контуров, настроенных на среднюю частоту, т. е. на промежуточную частоту, соответствующую отсутствию модуляции. Контуры включены по симметричной схеме, так что выходное напряжение равно нулю или некоторой постоянной величине. Как только несущая частота начинает изменяться в ту или иную сторону, симметрия нарушается и появляется переменное напряжение.

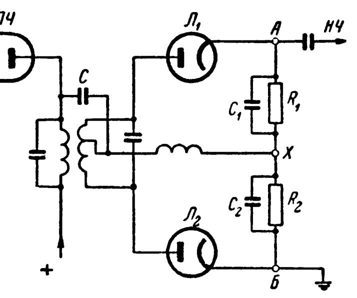


Рис. 126. Схема частотного дискриминатора.

Н. — Может быть, в твоем объяснении заключена глубокая мудрость, но для меня это звучит крайне абстрактно. Не изобразишь ли ты для пояснения схему?

Л. — Вот наиболее распространенная схема так называемого д и с к р и м и н а т о р а (рис. 126). Сразу бросается в глаза полная симметрия схемы. Обрати внимание на то, что, кроме индуктивной связи между последним каскадом усилителя промежуточной частоты и дискриминатором, имеется емкостная связь через конденсатор *С*, включенный точно в среднюю точку вторичной обмотки трансформатора.

Н. — Я полагаю, что собака зарыта именно тут, в дискриминаторе.

Л. — Твоя интуиция тебя не обманула. Напряжение, подаваемое через конденсатор, сдвинуто по фазе относительно напряжения, наведенного в результате магнитной связи. До тех пор, пока частота обоих напряжений равна резонансной частоте контуров (трансформатора), напряжения на обоих концах вторичной обмотки одинаковы относительно средней точки.



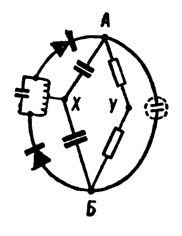
Н. — Я угадываю дальнейшее. Эти напряжения детектируются диодами $Л_1$ и $Л_2$, в результате чего на резисторах R_1 и R_2 возникают равные постоянные напряжения противоположных полярностей. Я хочу сказать, что положительные потенциалы в точках *А* и *Б* относительно точки *Х* будут равны и, следовательно, взаимно компенсируются.

Л. — Держу пари, Незнайкин, что ты опустошил еще одну банку сардин и пополнил свой мозг фосфором... Продолжай, поскольку твои рассуждения совершенно правильны.

Н. — Легче легкого. Допустим, что сигнал промодулирован, иными словами частота увеличивается или уменьшается относительно среднего значения. При этом частота отклоняется относительно резонансной частоты контуров, симметрия нарушается и напряжение на одном из концов вторичной обмотки трансфор-

матора относительно средней точки оказывается выше, чем на другом конце. Вследствие этого после детектирования равенство напряжений в точках *А* и *Б* относительно точки *X* больше не будет соблюдаться. Напряжение между точками *А* и *Б* будет равно их разности. Это напряжение и явится искомым напряжением звуковых частот.

Л. — Поздравляю, дружище. Ты избавил меня от необходимости анализировать работу схемы. Можно лишь добавить, что конденсаторы, включенные параллельно резисторам R_1 и R_2, выполняют обычную роль подавления составляющей промежуточной частоты.



ДЕТЕКТОР ОТНОШЕНИЙ

Н. — Применяется только один тип дискриминатора?

Л. — Нет. Имеются различные варианты схемы. Но все они основаны на одном и том же принципе симметричной схемы и использования продетектированных напряжений противоположной полярности. Однако существуют частотные детекторы, в которых использованы несколько другие принципы. Один из них, так называемый детектор отношений, я изобразил на рис. 127.

Н. — Но эта схема чрезвычайно похожа на схему дискриминатора. Та же симметрия, такая же смешанная индуктивно-

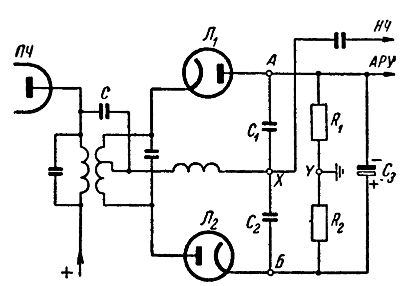
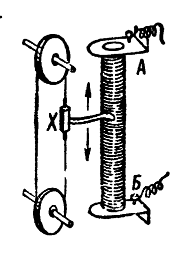
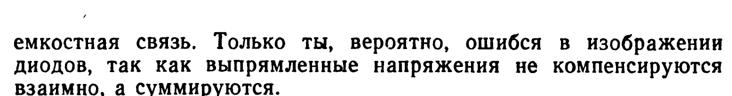


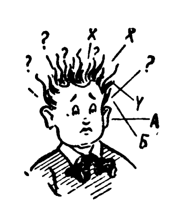
Рис. 127. Схема детектора отношений.





емкостная связь. Только ты, вероятно, ошибся в изображении диодов, так как выпрямленные напряжения не компенсируются взаимно, а суммируются.

Л. — Нет, это не ошибка. Действительно, нужно, чтобы напряжения, заряжающие конденсатор большой емкости C_3 (электролитический в несколько микрофарад), складывались. На его обкладках, иными словами между точками *А* и *Б*, устанавливается постоянное напряжение. Что же касается точки *X*, то ты догадываешься...



Н. — ... что напряжение на ней должно быть ровно вдвое меньше, так как симметрично включенные элементы C_1 и C_2, так же как и R_1 и R_2, равны.

Л. — Сардины продолжают оказывать благотворное влияние на твой интеллект! В отсутствие модуляции все действительно обстоит так. Но как только частота начинает меняться относительно резонансной частоты контуров,..

Н. — ... напряжение, продетектированное одним из диодов, становится больше или меньше другого продетектированного

напряжения. Поэтому точка *X* уже не будет в середине напряжения между точками *А* и *Б*.

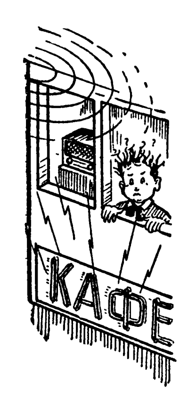
Л. — В который уже раз ты высказываешь, хотя и не в очень изящном виде, неоспоримые истины. Следует подчеркнуть, что при изменении частоты напряжение между точками *А* и *Б* не меняется (так как оно не зависит от частоты). Меняется лишь о т н о ш е н и е напряжений между точками *X* и *Б* и между точками *X* и *А*.

Н. — В результате между точками *X* и *Y* возникнет напряжение низкой частоты, так как в каждый данный момент оно будет пропорционально отклонению частоты от среднего значения, соответствующего отсутствию модуляции.

Л. — Ты рассуждаешь, как Эвклид и Декарт, вместе взятые! Таким образом, в детекторе отношений напряжение между точками *X* и *Y* зависит в каждый данный момент только от частоты несущей, в то время как полное напряжение между точками *А* и *Б* совсем не зависит от частоты.

Н. — Я полагаю, что это напряжение зависит от амплитуды продетектированного сигнала.

Л. — И ты не ошибаешься. Именно поэтому оно может быть использовано для автоматической регулировки усиления приемника (АРУ).



ДОЛОЙ ПОМЕХИ!

Н. — Таким образом, напряжение между точками *А* и *Б* зависит от амплитуды, а между точками *X* и *Y* — от частоты. Это наводит меня на одну мысль, которая, может быть, покажется тебе смешной.

Л. — А, может быть, и нет. Говори же.

Н. — Как ты знаешь, я очень страдаю из-за помех от неоновой рекламы на нашем доме, создающей невероятные трески в моем приемнике. Эти помехи возникают в результате того, что принимаемые колебания модулируются по амплитуде возмущающими напряжениями. Следовательно, если я буду принимать с помощью детектора отношений частотно-модулированную передачу, эти помехи, воздействующие на амплитуду, а не на частоту сигнала, будут отсутствовать в сигнале низкой частоты между точками *X* и *Y*...

Почему ты смеешься, Любознайкин? Я сказал что-нибудь абсурдное?

Л. — О нет, наоборот, Незнайкин. Все, что ты сказал, совершенно правильно. Я просто подумал, что если мне придется излагать тебе сложную теорию операционного исчисления, то тебе достаточно будет поглотить лишь соответствующее количество сардин для стимулирования логических свойств твоего мышления...



Н. — Значит, кроме высокого качества музыкального воспроизведения (неограниченного ни по полосе, ни по динамическому диапазону), ЧМ передаче свойственна также высокая помехозащищенность. Это поистине замечательно!

Л. — Не торопись, дружище. Это почти так в случае детектора отношений, но совсем не так при приеме на дискриминатор, реагирующий на изменения как частоты, так и амплитуды.

Н. — Как жалко! Неужели не существует способа ограничить изменения амплитуды, поскольку они совершенно бесполезны и лишь способствуют проникновению помех при приеме?

Л. — Это можно сделать и это в действительности осуществляют в а м п л и т у д н о м о г р а н и ч и т е л е.

Н. — А что это такое?

Л. — Это устройство, которое включают перед частотным детектором и которое ограничивает на заданном уровне амплитуду сигнала. Все значения амплитуд, превышающие некоторое заданное значение, как бы подрезаются (рис. 128). Благодаря этому исключаются все изменения амплитуды, вызываемые как помехой, так и замираниями сигнала.

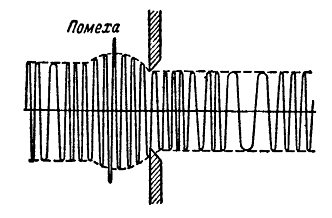


Рис. 128. Рисунок, поясняющий принцип двустороннего ограничения частотно-модулированных колебаний, амплитуда которых не сохраняет постоянной величины.

Н. — Твой ограничитель напоминает мне горшок, которым пользуются некоторые деревенские парикмахеры для стрижки клиентов. Все, что выходит за пределы горшка подстригается.

Л. — Я никогда не был жертвой такой операции.

Н. — Но как же устроен амплитудный ограничитель?

Л. — Наиболее распространена схема насыщенного пентода. Режим пентода выбирают таким образом, чтобы характеристика

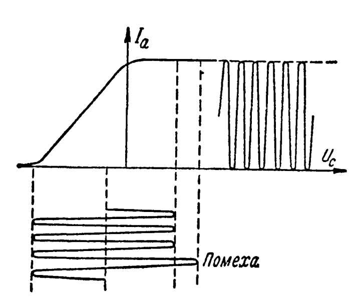


Рис. 129. Амплитудное ограничение происходит на верхнем и нижнем изгибах характеристики.

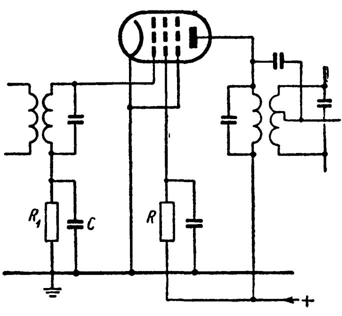
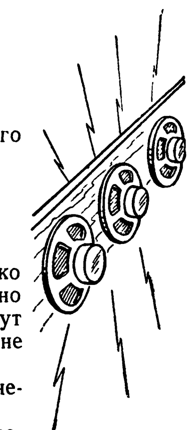


Рис. 130. Схема амплитудного ограничителя.

зависимости анодного тока от сеточного напряжения имела ярко выраженный горизонтальный участок (рис. 129). При достаточно большом напряжении сеточного возбуждения колебания выйдут за пределы линейного участка и будут ограничены на уровне верхнего и нижнего изгибов характеристики.



Н. — А как же удается создать характеристику такой необычной формы?

Л. — Подавая на экранирующую сетку незначительное напряжение (от 5 до 15 *в*). Его можно получить, например, с помощью гасящего резистора *R* с очень большим сопротивлением (рис. 130). Иногда при этом уменьшают и анодное напряжение.

Н. — Бедный голодающий пентод! Он, естественно, настолько слабеет, что не имеет сил передать амплитуды, превышающие

некоторое значение... А какую роль играют в схеме резистор R_1 и конденсатор C? Не имеет ли здесь место сеточное детектирование?

Л. — В известной мере, да. Благодаря падению напряжения на резисторе R_1, возникающему из-за наличия сеточных токов, рабочая точка устанавливается таким образом, что получается наилучший режим амплитудного ограничения.

Н. — Мы можем приступить теперь к разбору цепей низкой частоты ЧМ приемника. Я полагаю, что и там должны быть какие-нибудь особые схемы.

Л. — На этот раз ты ошибся. Усилитель низкой частоты ЧМ приемника должен быть только очень высокого класса, чтобы не исказить ни амплитудную, ни частотную характеристику. Нужен также высококачественный громкоговоритель, и лучше не один, а несколько. Но я отмечаю, что эффект поглощения сардин исчезает и поэтому отпускаю тебя для пополнения запасов фосфора...



БЕСЕДА ДВАДЦАТЬ ВТОРАЯ

Современные радиоприемники часто компонуются с устройствами для проигрывания грампластинок (радиолы), а также для записи и воспроизведения звука на магнитной ленте (магнитолы).

КОНСЕРВИРОВАННЫЕ ЗВУКИ



Незнайкин. — До сих пор, Любознайкин, ты говорил мне лишь о передаче звуков в пространстве. Однако некоторым образом их можно передавать и во времени. Так, например, вчера я слушал грампластинку великого тенора Энрико Карузо, умершего в 1921 г.

Любознайкин. — Ты совершенно прав, Незнайкин. Созданные специалистами по радиоэлектронике устройства позволяют «консервировать» звуки, а затем воспроизводить их.

Н. — Какие же это устройства?

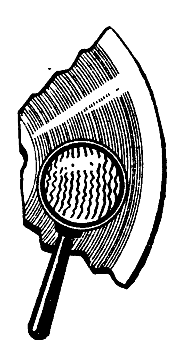
Л. — Прежде всего усилители низкой частоты на лампах или транзисторах. Как при записи звука, так и при его воспроизведении мы всегда имеем малые напряжения звуковых частот, а ведь при воспроизведении необходимо получить довольно значительную мощность.

Н. — Хорошо, но как на практике звуки записываются в канавках (бороздках) грампластинки?



Л. — Как ты мог убедиться, эти канавки представляют собой чрезвычайно плотную спираль: на одном сантиметре (по радиусу грампластинки) умещается от 35 до 100 канавок; при этом их глубина остается неизменной. Канавки «модулируются» звуком, который им придает волнообразную форму. Волны располагаются более или менее густо (в зависимости от частоты звука) и имеют бóльшую или меньшую ширину (в зависимости от громкости звука).

Н. — Так, значит, если я правильно понял, в периоды тишины канавки имеют форму спирали, а практически, можно сказать, форму кругов, диаметр которых постепенно убывает. Их можно сравнить с незатухающими и немодулированными колебаниями тока высокой частоты. В местах, где записан звук, дорожка канавки изменяется в поперечном направлении, т. е. канавки попеременно отклоняются к центру и краю грампластинки. В этом случае канавка напоминает кривую тока высокой частоты, модулированного низкочастотным сигналом.

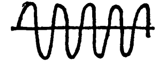


Л. — Браво, Незнайкин! Должно быть, ты зарядился приличной дозой фосфора, что так прекрасно понял природу записи звука на грампластинке.

Н. — И тем не менее кое-что сильно интересует меня. Как достигли того, что при больших амплитудах звука канавки не налезают одна на другую?

Л. — Это достигается путем ограничения максимального отклонения канавки до половины расстояния между двумя соседними канавками.

НЕМОЙ ГРОМКОГОВОРИТЕЛЬ



Н. — Как же осуществляется запись звука на грампластинке? Я предполагаю, что сначала записываемые звуки с помощью микрофона преобразуются в соответствующие электрические сигналы низкой частоты. Последние, несомненно, усиливаются уже изученными нами устройствами. А затем?

Л. — Затем остается лишь преобразовать усиленные сигналы в механические колебания при помощи рекордера, резец которого и нанесет канавки на специальную пластинку.

Н. — Это просто сказать, но я не представляю себе, как на практике осуществить это преобразование электрических колебаний в механическое движение.

Л. — А разве мы уже не решили эту проблему при воспроизведении звука с помощью громкоговорителя электромагнитиой системы?

Н. — Действительно, в громкоговорителе ток вызывает механические колебания, передаваемые мембране или диффузору. Но серьезно говоря, ведь не предлагаешь же ты вырезать канавки на пластинке с помощью громкоговорителя?

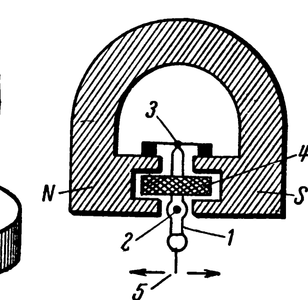


Рис. 131. Рекордер для записи звука на диск.

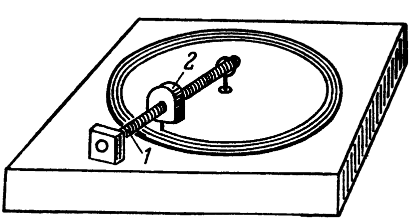
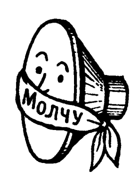


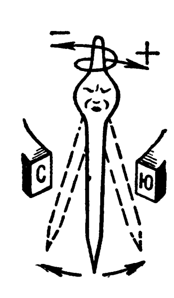
Рис. 132. Перемещаясь вдоль винта *1* рекордер *2* образует на диске спиральную канавку.



Л. — Для этой цели мы используем только электромагнитный механизм якоря громкоговорителя, отсоединив от него диффузор. Таким образом наш громкоговоритель окажется немым. Что же касается самого записывающего механизма рекордера, то в самом простом виде он представляет собой электромагнит, помещенный между полюсами сильного постоянного магнита (рис. 131).

Н. — Расскажи поподробнее об этом.

Л. — Изволь. Электромагнит состоит из подвижной стальной пластинки *1*, двигающейся вокруг оси *2* и удерживаемой в среднем положении на эластичной резиновой подвеске *3*. Через укрепленную на пластинке катушку *4* проходит ток низкой частоты. В результате при каждом полупериоде тока полярность обоих концов пластинки меняется и они попеременно притягиваются то к одному, то к другому полюсу магнита.



Н. — Я вижу, что пластинка перемещается то вправо, то влево. А что ты обозначил на конце этой пластинки цифрой *5*?

Л. — Это острие стального резца, которое и вырезает на пластинке канавки.

Ну, а теперь поехали дальше. Подвижная каретка с рекордером установлена на винте с плотной резьбой, который распо-

ложен по радиусу пластинки (рис. 132). Последняя представляет собой слой воска, нанесенный на стальное основание. Вращение пластинки сочетается с медленным перемещением каретки с рекордером вдоль винта, в результате чего на пластинке образуется спиральная канавка. Колебания резца рекордера придают канавке волнообразную форму. Так осуществляют запись звука.

ОТ НЕГАТИВА К ПОЗИТИВУ



Н. — Но запись на воске, вероятно, очень недолговечна. Да к тому же как, имея эту единственную запись, получить тысячи грампластинок?

Л. — Начинают с изготовления точной медной копии, используя метод гальванопластики. Для этого поверхность воска покрывают тонким слоем графитового порошка, благодаря чему она становится проводником тока. Обработанную графитом восковую пластинку с записью опускают в ванну с раствором сульфата меди и устанавливают ее напротив массивного медного электрода. Затем через раствор пропускают постоянный электрический ток, подключив положительный полюс источника тока к медному электроду, а отрицательный полюс — к восковой пластинке (рис. 133).



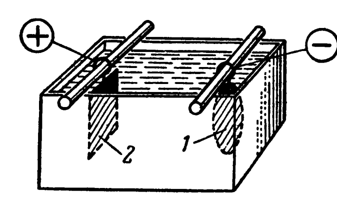
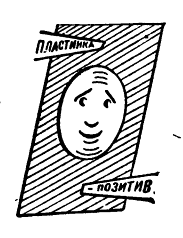


Рис. 133. В гальванической ванне с пластинкой (диском) *1* и электродом *2* получают медную копию пластинки.

Н. — Я понял! Электрический ток вырывает атомы меди из электрода, переносит их через раствор и оставляет на поверхности воска.

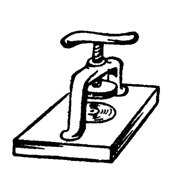
Л. — Внешне все выглядит как бы в соответствии с твоей гипотезой. Однако происходящие явления значительно сложнее, чем ты думаешь, но это не имеет значения... Для нас важно, что по истечении некоторого времени на поверхности воска образуется медная корка, точно воспроизводящая все извилины канавки.



Н. — Да, но наизнанку: все углубления стали выпуклостями, и наоборот. Полученная медная копия напоминает фотографический негатив.

Л. — Совершенно верно. Теперь мы имеем в руках нечто более прочное, чем воск. Тем же методом гальванопластики с нашего негатива снимают еще одну копию.

Н. — На этот раз получим позитив: углубления и рельефные места идентичны углублениям и рельефным местам воскового оригинала.

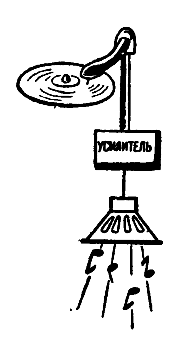


Л. — Правильно. С этой позитивной копии получают несколько новых копий — негативов, которые служат матрицами на прессе и позволяют получить нужное количество пластмассовых грампластинок.

Н. — Подожди минутку, Любознайкин. Я немного запутался в многочисленных превращениях углублений в рельефные места, и наоборот. Давай разберемся. Восковой оригинал — позитив, первая медная копия — негатив, вторая копия — позитив, матрицы для пресса — негативы, следовательно, грампластинки — позитивы. Все в порядке!!!

Л. — Ты правильно рассудил.

ОБРАТИМЫЕ ЯВЛЕНИЯ



Н. — Но мы рассмотрели только одну сторону вопроса — запись. А я больше всего хотел бы понять, как воспроизводятся звуки. Я предполагаю, что здесь, как всегда, прибегают к обратимости электрических явлений.

Л. — Твоя интуиция тебя не подвела. Устройство, используемое для записи, прекрасно может послужить и для ее считывания с грампластинки, или, как обычно говорят, в качестве звукоснимателя.

Н. — Действительно, если подвижная пластинка приходит в колебательное движение, когда ее заостренный конец идет по канавке, то ее намагничивание изменяется под воздействием постоянного магнита. Следовательно, катушка находится в переменном магнитном поле. Поэтому в ней должны возникнуть токи, идентичные тем, которые использовались для вырезания канавки при записи звука.

Л. — И их остается лишь усилить, чтобы с помощью громкоговорителя можно было услышать записанные звуки. Для этой цели можно использовать, например, низкочастотную часть радиоприемника. Тебе, вероятно, известно, что радиоприемники имеют вход, предназначенный для подключения звукоснимателя?

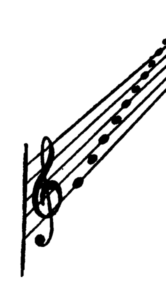
Н. — Это я знаю. Полагаю также, что при воспроизведении нет необходимости устанавливать звукосниматель на бесконечном винте, так как канавка сама направляет иглу звукоснимателя. Поэтому звукосниматель устанавливается на вращающемся рычаге, носящем название тонарма.

Л. — И ты знаешь, что игла звукоснимателя должна быть отлично отполирована и изготовлена из самого твердого материала: алмаза или корунда.

Н. — Это я понимаю. Если игла износится, то она не сможет больше выписывать все мельчайшие извилины канавки, а кроме того, она будет портить грампластинку.

МИКРОНЫ НА ДОЛГОИГРАЮЩЕЙ ПЛАСТИНКЕ

Л. — А знаешь ли ты, какую длину внешней канавки грампластинки диаметром 30 *см,* вращающейся со скоростью $33^1/_3$ *об/мин*, занимает один период звука частотой 5 000 *гц*?



Н. — Мне было бы интересно это узнать.

Л. — Оба полупериода занимают меньше одной десятой миллиметра.

Н. — Это ужасно мало.

Л. — А ведь я еще взял наиболее благоприятный случай. В конце проигрывания пластинки игла движется по внутрениим канавкам, диаметр которых доходит до 13 *см,* тот же период звука частотой 5 000 *гц* занимает всего лишь 0,04 *мм* (или 40 *мк*) по длине канавки!

Н. — Ты прав, Любознайкин. Скорость движения канавки под иглой звукоснимателя должна снижаться по мере приближения этой иглы к центру грампластинки.

Л. — Да. При проигрывании долгоиграющей пластинки (так называемой пластинки с микрозаписью) диаметром 30 *см* со скоростью вращения $33^1/_3$ *об/мин* линейная скорость снижается с 45 *см/сек* в начале до 20 *см/сек* в конце пластинки.

Н. — Я думаю, что из-за этого высокие ноты, записанные ближе к центру грампластинки, воспроизводятся недостаточно хорошо.

Л. — На практике их ослабление чувствуется незначительно. И тем не менее это постепенное снижение скорости представляет собой теоретически один из основных недостатков записи звука на грампластинках.

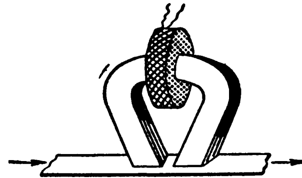
ОТ ГРАМПЛАСТИНКИ К МАГНИТНОЙ ЛЕНТЕ

Н. — Я подозреваю, что, как и всегда, установив диагноз, ты дашь мне и лекарство от болезни.

Л. — Оно заключается в отказе от грампластинки в пользу магнитной ленты.

Н. — Ты имеешь в виду магнитофоны, где лента из пластического материала сматывается с одной катушки и наматывается на другую, проходя перед маленькими коробочками со странным названием магнитные головки?

Л. — Именно так. Эта лента с одной стороны покрыта слоем железного порошка, подобного тому, из которого делают сердечники для высокочастотных катушек. Очень мелкие зерна железа могут легко намагничиваться магнитным полем и способны сохранять свое намагниченное состояние.



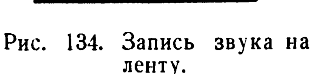
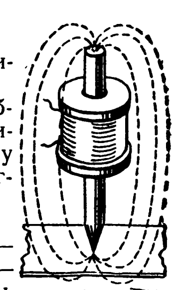


Рис. 134. Запись звука на ленту.

Н. — Я, кажется, догадался, что происходит. В магнитной головке должен быть электромагнит с острием. Магнитная лента проходит перед этим острием. И если через катушку электромагнита протекает ток низкой частоты, то возникающие при этом изменения магнитного поля будут записываться вдоль ленты в виде переменного намагничивания.

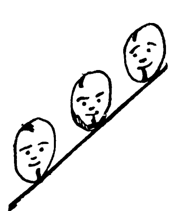


Л. — Твои предположения не далеки от истины, но ты ошибся, представив себе, что электромагнит с острием наподобие линии магнитного поля должен вне магнита вернуться к другому полюсу, и лента окажется как бы погруженной в рассеянное магнитное поле.

Н. — Об этом я не подумал... Что же делать?

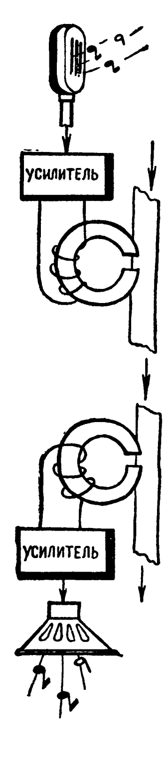
Л. — Для получения сконцентрированного магнитного поля — а это необходимое условие воспроизведения высоких частот — следует применить электромагнит с сердечником в виде подковы, где зазор между полюсами представляет собой очень узкую щель (ее ширина несколько микрон). В этом случае лента будет точно намагничиваться по всей ширине дорожки, прилегающей к щели (рис. 134).

ТРИ ГОЛОВКИ ИЛИ ОДНА?



Н. — Это исключительно ясно. Я предполагаю, что при воспроизведении используется такая же головка, что и при записи. При прохождении ленты перед ее щелью переменное намагничивание, созданное на железном порошке при записи, наводит в катушке головки токи низкой частоты, которые после усиления дают возможность услышать записанные ранее звуки,

Л. — Это правильно. В большинстве бытовых магнитофонов одна головка служит и для записи, и для воспроизведения. В первом случае она подключается к выходу усилителя, на вход которого включен микрофон. При переключении магнитофона на воспроизведение головка оказывается подключенной к входу усилителя, который подает усиленный сигнал на громкоговоритель.



Н. — Я догадываюсь, что значительное преимущество магнитофона заключается в постоянстве скорости протяжки ленты.

Л. — Правильно. Лента движется со стандартной скоростью (4,75; 9,5; 19 или 38 *см/сек*). Чем больше скорость, тем выше качество записи, особенно звуков высокой частоты.

Н. — Да, но с повышением скорости снижается длительность записи на ленте.

Л. — Разумеется. Но в настоящее время выпускают магнитофоны, которые могут записывать звуки на двух или даже четырех параллельных дорожках одной ленты, что увеличивает в 2 или в 4 раза длительность звучания, которая может достигать нескольких часов.

Н. — Я слышал, что ленту можно использовать повторно, стерев с нее запись, как карандаш с бумаги. Так ли это?

Л. — Совершенно верно. А стирается магнитная запись просто магнитным полем ультразвуковой частоты (т. е. выше частот, воспринимаемых человеческим ухом), например, 25 000 *гц*. Это поле создается стирающей головкой, которая устанавливается перед записывающей.

Н. — Значит, лента, проходя мимо стирающей головки, очищается от предыдущей записи?

Л. — Да, но это делается только при новой записи. При воспроизведении же стирающая головка отключается.

Н. — А можно ли обходиться одной головкой для выполнения записи, воспроизведения и стирания?

Л. — Практически этого не делают. Однако должен тебе сказать, что переменное ультразвуковое поле должно объединяться с полем, служащим для записи, а для этого в записывающую головку, кроме тока низкой частоты, подают еще и ультразвуковой ток.

Н. — Боже мой, зачем же?

Л. — Не волнуйся, он не уничтожит запись, так как очень мал по сравнению со стирающим током. Малая доза высокочастотного тока нужна чтобы «встряхнуть» железные зерна ленты, которые воспринимают намагничивающее низкочастотное поле, создаваемое сигналом.

Н. — Очень хорошо, что головки могут выполнять несколько функций. Но я чувствую, что моя голова сегодня вечером не способна больше выполнить и одной.

Л. — Учитывая это известное всем явление насыщения, лучше закончим нашу беседу о звукозаписи.

○

БЕСЕДА ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЯ И ПОСЛЕДНЯЯ

Вот мы и заканчиваем наше чудесное путешествие по живописной стране радио, которое Вам помогли осуществить беседы наших друзей. Если Вы внимательно за ними следили, то радио не является больше для Вас секретом, по крайней мере в основных чертах. Но перед расставанием Любознайкин и Незнайкин начертят и проанализируют, используя полученные знания, схему радиоприемника, который они собираются изготовить.

ЗА РАБОТУ!

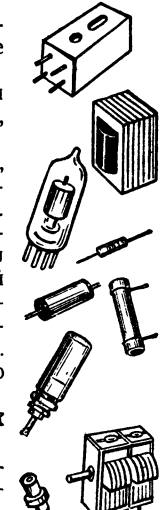
Незнайкин. — Клянусь пентодом! Что я вижу! Ты, вероятно, опустошил целый магазин радиодеталей, дорогой Любознайкин.

Любознайкин. — Почти что так, Незнайкин. Теперь мы вступаем в активную фазу нашего технического сотрудничества, которое, надеюсь, будет столь плодотворным, что...

Н. — Пожалей. Не сокрушай меня таким напыщенным стилем. Скажи, зачем необходимо такое количество экранированных катушек, ламп, резисторов и конденсаторов?

Л. — Да для того, чтобы начать, наконец, сборку радиоприемника, столь давно обещанного тетушке. Я полагаю, что теперь ты знаешь все необходимое о работе приемника, чтобы без боязни приступить к его постройке.

Н. — Я очень польщен этим знаком доверия и даже заговорил в стиле, который ты сегодня избрал. Я хотел бы также знать, какую схему ты хочешь предложить.



Л. — Я ничего не хочу тебе навязывать, дружище. Выскажи мне свои пожелания, и я постараюсь составить такую схему, чтобы она им удовлетворила.

Н. — Превосходно. Это должен быть, совершенно очевидно, супергетеродин. И так как он должен иметь очень высокую чувствительность, первым должен быть усилитель высокой частоты.

Л. — Твои пожелания выполнены, Незнайкин (рис. 135). Сигнал на сетку лампы $Л_1$ усилителя высокой частоты мы подаем через трансформатор L_1L_2 с вторичной обмоткой, настраиваемой конденсатором C_1. Смещение на управляющей сетке лампы создается с помощью резистора R_1 в цепи ее катода, а напряжение на экранирующей сетке — с помощью гасящего резистора R_2. Этими же индексами обозначены соответствующие резисторы во всех остальных лампах.

Н. — Ты забыл проставить обозначения на развязывающих конденсаторах.

Л. — Я это специально сделал, чтобы не загромождать чертеж. Ты будешь знать, что конденсаторы без обозначений служат для развязки.

Н. — Согласен. Я полагаю, что назначение конденсатора C_7 такое же, как и конденсатора C_7 на рис. 78.

Л. — У тебя прекрасная память, поздравляю! Действительно, этот конденсатор служит для замыкания цепи колебательного контура L_2C_1 по высокой частоте. Статор конденсатора

переменной емкости обязательно заземляется, так как он закреплен в металлическом корпусе. Но конец катушки L_1 присоединен к цепи автоматической регулировки усиления, напряжение в которой незначительно. Благодаря конденсатору C_7 цепь колебательного контура замыкается. Резистор R_7 и конденсатор C_7 создают необходимую постоянную времени цепи автоматической регулировки усиления.

Н. — А теперь меня интересует смесительный каскад на триод-гексоде $Л_2$.

Л. — Нет ничего проще. Через трансформатор L_3L_4 с вторичной обмоткой, настроенной с помощью конденсатора C_2, мы подаем усиливаемое напряжение высокой частоты на первую сетку гексода. Обрати попутно внимание на то, что в цепях анодов всех ламп включены развязывающие резисторы R_3. Гетеродин состоит из триодной секции комбинированной лампы, колебатель-

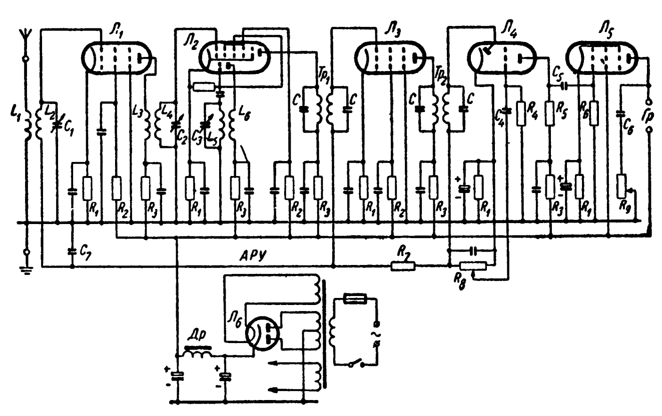


Рис. 135. Окончательная схема, по которой после многочисленных изменений Незнайкин будет собирать приемник.



ного контура L_5C_3 и катушки обратной связи L_6. Его напряжение подано, как полагается, на третью сетку гексода.

Н. — Дальше я могу самостоятельно разобраться в схеме. Напряжение промежуточной частоты подается на сетку пентода $Л_3$ усилителя промежуточной частоты с помощью первого трансформатора $Тр_1$ с настроенными первичной и вторичной обмотками. Второй трансформатор промежуточной частоты $Тр_2$ подает усиленное напряжение промежуточной частоты на детекторный диод, являющийся частью комбинированной лампы $Л_4$, содержащей также триод предварительного усилителя низкой частоты...

Л. — Незнайкин, ты разговариваешь, как говорящий учебник по радиотехнике... и не говоришь глупостей!

Н. — Не обижай меня, Любознайкин. После того как я изучил порознь все элементы общей схемы, мне не трудно разобраться в целом. Диод-триод $Л_4$ включен по классической схеме. Продетектированное напряжение мы снимаем движком с потенциометра R_8 и подаем через конденсатор связи C_4 на управляющую сетку триода, напряжение смещения которой подается через резистор R_4.

Л. — А автоматическая регулировка усиления?

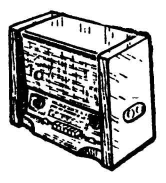
Н. — Тоже самая обычная схема. Продетектированное напряжение подается через цепь R_7C_7 на управляющие сетки ламп уси-

лителей высокой и промежуточной частоты, благодаря чему регулируется коэффициент усиления.

Л. — Сегодня ты совершенно неисчерпаем. Заканчивай же разбор схемы.

Н. — Цепь связи, состоящая из резистора R_5 и конденсатора C_5, между предварительным усилителем низкой частоты и выходным пентодом $Л_5$ вполне тривиальна. Также ничего необычного не представляет собой двухполупериодный выпрямитель с кенотроном косвенного канала $Л_6$. Ничего нельзя возразить и против фильтра, состоящего из двух электролитических конденсаторов и дросселя *Др*.

Л. — Могу добавить лишь, что в качестве конденсаторов развязки в цепях катодов усилительных ламп низкой частоты также применены электролитические конденсаторы, так как там нужны большие емкости... Теперь тебе все ясно в этой схеме?



Н. — Я должен отметить, что между анодом выходной лампы и корпусом включен еще необычный конденсатор C_6 последовательно с переменным резистором R_9. Для чего они служат?

Л. — Чтобы не пропускать в громкоговоритель повышенные частоты звуковой передачи.

Видишь ли, пентоды, употребляемые в усилителях низкой частоты, имеют плохую привычку больше усиливать повышенные частоты, подчеркивая таким образом резкие звуки. Чтобы смягчить тембр музыкальной передачи, уменьшают напряжение более высоких частот с помощью цепи C_6R_9. Чем выше частота, тем легче она проходит через конденсатор. Чтобы регулировать величину ответвляющегося тока, применяется включенный последовательно с конденсатором переменный резистор R_9. Чем больше сопротивление включенного резистора, тем меньше высоких частот будет ответвляться в эту цепь, и, наоборот, уменьшая его сопротивление, мы будем ослаблять интенсивность резких звуков. Такой регулятор называется регулятором тембра.

Н. — Словом, помимо ручки настройки, объединяющей группу конденсаторов переменной емкости, приемник будет иметь еще ручку регулировки громкости R_8 и ручку регулировки тембра R_9.

Л. — Ты забыл назвать еще ручку переключателя диапазона волн... А теперь, дружище, тебе ничего больше не остается, как, вооружившись плоскогубцами, отверткой и паяльником, приступить к работе.



ПОСЛЕДНИЕ СОВЕТЫ

Н. — Ты действительно думаешь, что я смогу теперь обходиться без твоих советов?

Л. — Конечно, в течение двадцати трех вечеров, которые мы так приятно провели за беседой, я не касался тонкостей теории. Но сейчас ты знаешь уже достаточно, чтобы легко разобраться в любой схеме. Самые сложные схемы могут быть разбиты на определенное число простых элементов, которые тебе прекрасно известны. Время и опыт научат тебя с первого взгляда узнавать их.

Читая схемы, возьми за правило следить с карандашом в руке за путями тока в различных цепях и главным образом в цепях катод — анод ламп. Не забывай, что электроны всегда выходят из катода и обязательно должны туда возвратиться. Упражняйся как можно чаще в чтении схем. Только с полным знанием дела, представляя себе роль каждого элемента, ты сможешь хорошо выполнить практическую работу по конструиро-

ванию... Не забывай также, что радиотехника — молодая наука, находящаяся в расцвете своего развития, и что только регулярное чтение хороших книг и журналов поможет тебе быть постоянно в курсе ее достижений.

Должен тебе сказать, что мы изучили только ламповые схемы приемников, а ведь теперь наряду с лампами в приемниках широко применяются и другие приборы — транзисторы. Но о них мы поговорим потом, когда будем располагать свободными вечерами.

На протяжении всех наших бесед ты задавал мне столько вопросов, что, мне кажется, в заключение я могу также в свою очередь задать тебе один вопрос: по-прежнему ли ты думаешь, что радио — это «дьявольски сложно»?

Н. — Радио?.. Это очень просто!..



КОММЕНТАРИИ К ПЕРВОЙ БЕСЕДЕ

Потенциал, проводники и диэлектрики

В этой беседе Любознайкин сумел изложить Незнайкину множество необходимых понятий из области электротехники, которые мы постараемся здесь систематизировать.

Атомы всех веществ состоят из определенного количества электронов и протонов. Первые представляют собой элементарные отрицательные электрические заряды, а вторые, составляющие ядро атома, являются элементарными положительными зарядами. Соотношение между количествами этих зарядов определяет электрическое состояние, или потенциал атома. Атом нейтрален, если он содержит столько же электронов, сколько и протонов. Он отрицателен, если количество электронов превышает количество протонов, и положителен при обратном соотношении.

Следует отметить, что в данном атоме количество протонов всегда остается постоянным; только некоторые электроны могут, преодолевая силу притяжения, существующую между электронами и протонами, переходить от одного атома к другому. Кроме того, такие «свободные» электроны существуют лишь в определенных веществах, именуемых проводниками. Вещества, атомы которых не содержат свободных электронов, принадлежат к категории диэлектриков.

Помимо электронов и протонов, ядро атома может содержать нейтроны, которые, увеличивая массу атома, не изменяют его электрическое состояние.

Электрический ток

Когда между атомами проводника существует разница в электрическом состоянии, или разность потенциалов, равновесие восстанавливается благодаря переходу избыточных электронов с отрицательного края — полюса на положительный. Переход электронов от отрицательного полюса к положительному представляет собой электрический ток. Направление движения электронов противоположно условному направлению тока (от положительного полюса к отрицательному), принятому еще в те времена, когда не знали природы электрического тока.

Следует отметить, что движение электронов вдоль проводника происходит не так просто, как можно было бы предположить по объяснению Любознайкина.

По проводнику пробегает от одного конца до другого не один и тот же электрон. Чаще всего этот электрон лишь переходит с одного атома на соседний, откуда другой электрон перескакивает на следующий атом и т. д. Собственная скорость электрона относительно мала, но общее движение происходит

с постоянной скоростью, близкой к 300 000 *км/сек*, которая и является скоростью распространения электрического тока.

Электроны можно уподобить веренице автомобилей, остановившихся перед закрытым железнодорожным переездом. Когда шлагбаум поднимается, вся вереница машин быстро приходит в движение. Последняя машина трогается с места очень скоро после первой: это и есть скорость тока. Однако индивидуальная скорость каждой машины (скорость электронов) в этот момент относительно невелика.

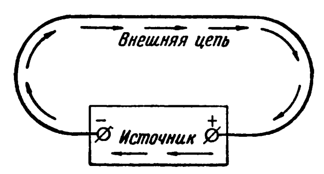


Рис. 136. Движение электронов через источник питания и по внешней цепи.

Если ничто не будет поддерживать на концах проводника разность потенциалов, или н а п р я ж е н и е, то после установления электрического равновесия ток в проводнике прекратится. Чтобы ток протекал безостановочно, нужно непрерывно добавлять электроны к атомам отрицательного полюса и отнимать электроны от положительного полюса. В этом и заключается роль любого и с т о ч н и к а т о к а, который производит э л е к т р и ч е с к у ю э н е р г и ю. Таким источником может быть электрическая батарея (где химическая энергия преобразуется в энергию электрическую), термоэлектрическая батарея (превращающая тепло в электричество) или генератор, установленный на электростанции, который преобразует механическую энергию двигателя в электрический ток.

Следует отметить, что внутри источника питания электроны движутся от положительного полюса к отрицательному (рис. 136). Это происходит потому, что электроны должны быть отняты у атомов положительного полюса, с тем чтобы создать избыток их в атомах отрицательного полюса. Таким образом, в электрической цепи электроны движутся в том же направлении от одного конца к другому.

Вольт, ампер, ом

Разность потенциалов, или напряжение, существующее между двумя точками проводника, измеряется и выражается в в о л ь т а х.

Количество электронов, проходящее через поперечное сечение проводника в секунду, может быть более или менее значительным. Оно определяет с и л у (и н т е н с и в н о с т ь) тока, которая измеряется в а м п е р а х.

В зависимости от длины, сечения и материала проводник оказывает прохождению тока большее или меньшее с о п р о т и в л е н и е. Сопротивление измеряется в омах.

Чем длиннее проводник, тем больше его сопротивление. Но чем больше сечение проводника, тем меньше его сопротивление.

Закон Ома

Повышая напряжение, приложенное к концам данного проводника, мы тем самым пропорционально увеличиваем количество приведенных в движение электронов, т. е. силу тока. Таким образом, мы можем констатировать, что *сила тока прямо пропорциональна напряжению.*

Прикладывая одинаковое напряжение к проводникам с разным сопротивлением, можно заметить, что проводники, имеющие большее сопротивление, пропускают более слабый ток. Отсюда следует, что *сила тока обратно пропорциональна сопротивлению.*

Обе отмеченные выше закономерности сформулированы в законе Ома: *сила тока прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению.*

Поэтому, когда известна величина напряжения (в вольтах), приложенного к концам проводника, сопротивление которого известно (и выражено в омах),

то, разделив первую величину на вторую, мы находим силу тока (в амперах), протекающего через этот проводник. Так, прикладывая напряжение 10 *в* к проводнику сопротивлением 5 *ом*, мы получаем ток в 2 *а*. Точно так же, как напряжение 1 *в*, приложенное к проводнику с сопротивлением 1 *ом*, даст ток 1 *а*.

Закон Ома является основным законом электротехники и радиотехники. Поэтому необходимо хорошо запомнить приводимые ниже основные виды этого закона.

Три вида закона Ома

В формуле закона Ома

$$I=\frac{U}{R}$$

напряжение U представляет собой делимое, сопротивление R — делитель и ток I — частное. Вспомним, что делимое равно произведению делителя на частное. Поэтому мы можем выразить этот же закон в новом виде:

$$U = IR.$$

Это означает, что *напряжение равно произведению тока на сопротивление*.

Следовательно, зная величину тока, протекающего через проводник с известным сопротивлением, мы можем, перемножив эти две величины, определить напряжение, создающее данный ток.

И, наконец, исходя из этого второго вида закона Ома $U = IR$ и вспомнив, что произведение U при делении его на один из сомножителей I дает другой сомножитель R, мы можем написать:

$$R=\frac{U}{I}.$$

Эта формула и является третьим видом закона Ома. Мы видим, что *сопротивление равно напряжению, деленному на ток*.

Если мы знаем величину напряжения на концах проводника и величину тока, которую оно определяет, мы можем получить значение сопротивления проводника, разделив первую величину на вторую.

На этом законе основаны омметры — приборы, служащие для измерения сопротивления проводников. Они содержат батарею с известным напряжением и амперметр (прибор для измерения силы тока). Когда напряжение батареи прикладывается к измеряемому проводнику, амперметр показывает величину установившегося тока. После этого для определения величины измеряемого сопротивления достаточно разделить известное напряжение батареи на величину тока, отсчитанную по амперметру.

КОММЕНТАРИИ КО ВТОРОЙ БЕСЕДЕ

Переменный ток

Если в первой беседе Любознайкин сумел изложить основные свойства постоянного тока, т. е. тока, создаваемого напряжением, имеющим постоянные величину и направление, то во второй беседе он смело приступил к рассказу о переменном токе.

Этот ток создается переменным напряжением. В случае переменного напряжения потенциал каждого конца проводника изменяется по отношению к

потенциалу другого конца проводника попеременно с положительного на отрицательный и наоборот, проходя при этом через все промежуточные потенциалы (включая и нулевой потенциал). В результате возникает ток, непрерывно изменяющий направление: при движении в одном направлении он возрастает, достигая максимума, именуемого амплитудой, затем спадает, на какой-то момент становится равным нулю, потом вновь возрастает, но уже в другом направлении и также достигает максимального значения, спадает, чтобы затем вновь пройти через нуль, после чего цикл всех изменений возобновляется.

Время, за которое происходит один такой цикл (время, включающее изменение тока в обе стороны), называется периодом переменного тока. Количество периодов, совершаемое током в одну секунду, носит название частоты. Само собой разумеется, что *чем короче период, тем больше их в одну секунду и тем выше частота.*

Переменный ток используется в электрической сети. Он вырабатывается машинами, называемыми «генераторами переменного тока». Обычная частота тока в Европе 50 *пер/сек*, или 50 *гц*, а в Америке — 60 *гц*.

Электромагнитные волны

«Промышленные частоты» для радиста являются очень «низкими», так как в радиотехнике для волн, используемых для радиопередачи, применяют токи высокой частоты, с частотой по крайней мере 10 000 *гц*, иначе говоря с периодом, равным или меньшим 0,0001 *сек*. Каждый период такого тока, проходящего по вертикальному проводу — передающей антенне, порождает электромагнитную волну, распространяющуюся в пространстве наподобие кольца, непрерывно расширяющегося вокруг антенны. Это расширение происходит со сказочной быстротой, удаляющей волну от антенны на 300 000 000 *м/сек*, т. е. со скоростью, равной скорости света. В этом нет ничего удивительного, так как радиоволны и световые волны имеют одну и ту же природу: в обоих случаях мы имеем дело с электромагнитными волнами. Они различаются лишь по частоте, которая значительно выше у световых волн.

Расстояние между двумя волнами, последовательно излученными антенной, называется длиной волны. Чем короче период (или выше частота), тем меньше это расстояние, т. е. волны следуют одна за другой через меньшие интервалы.

В радиотехнике различают несколько категорий или «диапазонов» волн, установленных несколько произвольно:

Длинные волны — с длиной волны 600 *м* и больше.

Средние волны — с длиной волны от 200 до 600 *м*.

Короткие волны — с длиной волны от 10 до 200 *м*.

Ультракороткие волны — от 1 до 10 *м*.

Дециметровые волны — от 10 *см* до 1 *м*.

Сантиметровые волны — от 1 до 10 *см*.

Последние почти вплотную подходят к наиболее длинноволновой части инфракрасного излучения.

Следует также сказать, что в радиотехнике вместо слова «период» иногда используют слово «цикл», а выражение «период в секунду» или «цикл в секунду» обычно заменяется термином герц (по фамилии физика, экспериментально доказавшего существование электромагнитных волн). В связи с тем, что в радиотехнике часто имеют дело с очень высокими частотами, пользуются укрупненными единицами: килогерц (*кгц*) = 1 000 *гц*, мегагерц (*Мгц*) = = 1 000 000 *гц* и гигагерц (*Гц*) = 1 000 000 000 *гц*.

Магнитное поле

Создание электромагнитных волн электрическим током является одним из многочисленных проявлений тесного родства (если не больше), объединяющего электрические и магнитные явления. Всякое перемещение электронов в проводнике порождает в непосредственной близости от него особое состояние про-

странства, называемое **магнитным полем**. Намагниченная стрелка компаса обнаруживает наличие магнитного поля вокруг проводника, по которому проходит электрический ток, причем стрелка устанавливается перпендикулярно проводнику. Если изменить направление тока, то стрелка опишет полукруг, что свидетельствует о наличии у магнитного поля полярности, определяемой направлением тока.

Магнитное поле проводника можно усилить, намотав проводник в виде катушки. В этом случае магнитные поля всех витков складываются и катушка, через которую проходит ток, действует как настоящий линейный магнит.

Действие такого магнита можно усилить, введя внутрь катушки стальной стержень. Мягкая сталь имеет для магнитных сил значительно бо́льшую **магнитную проницаемость**, чем воздух. Магнитное поле сосредоточивается в **магнитном сердечнике**, и мы получаем **электромагнит**. Если сердечник сделан из мягкой стали, то при выключении тока он теряет свою намагниченность (или сохраняет ее лишь в небольшой степени). Если же сердечник сделан из твердой стали, он остается намагниченным и после включения тока. Именно таким способом в настоящее время изготавливают искусственные постоянные магниты.

Индукция

Изменения электрического тока влекут за собой соответствующие изменения создаваемого им магнитного поля и, наоборот, *изменяющиеся магнитные поля наводят в проводниках переменные токи*. Поднося магнит к катушке или удаляя его от нее, мы наводим в катушке ток, который существует только во время движения магнита, т. е. во время изменения магнитного поля.

Следует хорошо усвоить, что именно *изменение*, а не простое присутствие магнитного поля сопровождается появлением тока в проводнике.

Вместо магнита к катушке можно подносить электромагнит — катушку, по которой идет постоянный ток. Результат будет таким же. Можно поместить катушку рядом с другой и пропускать через нее переменный ток. Переменный ток, проходящий по одной из катушек, вызовет во второй катушке переменный ток. Это явление носит название **индукции**. При этом нет необходимости в материальном контакте, так как между двумя катушками имеется магнитная связь. Обе катушки представляют собой в целом **электрический трансформатор**. Из дальнейшего станет ясным основание для такого наименования.

КОММЕНТАРИИ К ТРЕТЬЕЙ БЕСЕДЕ

Закон Ленца

Продолжая изучение магнитной индукции, наши молодые друзья открыли закон Ленца, хотя и не назвали его. Они констатировали, что *наведенный ток в каждый момент как бы противодействует изменениям наводящего тока*. Когда наводящий ток возрастает, наведенный ток течет в противоположном направлении. А когда наводящий ток спадает, наведенный ток течет в том же направлении.

Как мы видим, явления индукции подчиняются общему закону природы — закону действия и противодействия.

Наведенный ток зависит от скорости изменения наводящего тока и его величины.

Самоиндукция

Если ток, протекающий по катушке, наводит (индуктирует) токи в находящихся рядом катушках, то он, очевидно, должен наводить ток и в витках катушки, через которую протекает. Это явление, носящее название **самоиндукции**, подчиняется тем же законам, что и явление индукции. Поэтому когда ток, протекающий через катушку, увеличивается, появляется ток самоиндукции, направленный в противоположную сторону и замедляющий увеличение наводящего тока. По этой причине при подключении катушки к цепи постоянного тока устанавливающийся в катушке ток не может мгновенно достичь нормального значения Для этого необходимо некоторое время, которое тем больше, чем больше коэффициент самоиндукции, или индуктивность. Точно так же при постепенном повышении напряжения на катушке величина протекающего тока будет следовать за повышением напряжения с некоторым отставанием, так как ток самоиндукции действует в противоположном направлении.

Если же мы начнем уменьшать напряжение на катушке, то снижение тока произойдет также с некоторым опозданием. В этом случае ток самоиндукции направлен в ту же сторону, что и наводящий ток, и как бы поддерживает его. В предельном случае очень быстрое изменение наводящего тока (например, при размыкании выключателя) вызывает наведенное напряжение, которое может достичь большой величины и создать искру, проскакивающую между контактами выключателя.

Индуктивность

Когда переменное напряжение приложено к катушке, создаваемый им переменный ток поддерживает переменное магнитное поле, которое в свою очередь поддерживает ток самоиндукции, постоянно противодействующий изменениям наводящего тока и поэтому препятствующий наводящему току достичь максимума, который он имел бы при отсутствии самоиндукции (следует помнить, что при увеличении наводящего тока наведенный ток имеет противоположное направление и поэтому вычитается из него). Все происходит так, как если бы к активному сопротивлению проводника катушки добавлялось другое сопротивление, вызываемое самоиндукцией. Это **индуктивное сопротивление** *тем больше, чем выше частота тока* (потому что более быстрые изменения наводящего тока создают бóльшие токи самоиндукции) *и чем больше коэффициент самоиндукции.*

Коэффициент самоиндукции катушки, или **индуктивность**, зависит только от ее геометрических свойств: количества и диаметра витков и их расположения. Она возрастает при увеличении количества витков. Введение стального сердечника, увеличивая концентрацию магнитного поля, также значительно повышает индуктивность. Индуктивность катушки измеряется в **генри** (*гн*) или в меньших долях этой единицы: **миллигенри** (*мгн*) — одной тысячной доле генри и **микрогенри** (*мкгн*) — одной миллионной доле генри.

Если обозначить буквой L индуктивность катушки, выраженную в генри, то для тока частотой f (в герцах) индуктивное сопротивление $X_L = 2\pi fL = 6{,}28fL$ (здесь 6,28 — приближенное значение 2π).

Конденсатор

Рассмотрев основные свойства явлений индукции и самоиндукции, Любознайкин и Незнайкин переключились на изучение **конденсаторов**, способных благодаря **емкости** накапливать электрические заряды. Конденсатор состоит из двух проводников (образующих его **обкладки**), разделенных изолятором или, говоря «инженерным стилем», **диэлектриком**. При подключении обеих обкладок к источнику электрического тока электроны накапливаются на обкладке, соединенной с отрицательным полюсом, и покидают обкладку, соединенную с положительным полюсом. Накоплению зарядов способствует так-

же явление отталкивания между электронами двух близко расположенных одна к другой обкладок. Если эти обкладки раздвинуть, они уже не смогут удержать на себе такие же электрические заряды.

При подключении конденсатора к источнику электрического тока устанавливается зарядный ток, сначала большой, а затем уменьшающийся по мере приближения потенциала обкладок к потенциалу источника тока. Когда эти потенциалы сравняются, ток прекратится. Общая продолжительность тока в цепи очень мала.

Емкость

В зависимости от способности конденсатора накапливать большее или меньшее количество электричества говорят, что конденсатор имеет бóльшую или меньшую емкость. Емкость измеряется в фарадах (*ф*), однако более употребительны доли этой единицы: микрофарада (*мкф*) — миллионная доля фарады, нанофарада (*нф*) — 0,000000001 *ф* и даже микромикрофарада или пикофарада (*мкмкф* или *пф*), равная 0,000000000001 или 10^{-12} *ф*!

Емкость, естественно, зависит от размеров обкладок и повышается при увеличении их площади. Она тем больше, чем меньше расстояние между обкладками; однако по этому пути нельзя идти слишком далеко, так как при очень тонком слое диэлектрика произойдет разряд (искра). Это называется пробоем конденсатора. Емкость зависит также от материала диэлектрика. Наилучшим (а также самым дешевым) из диэлектриков является сухой воздух. Однако если заменить его любым другим диэлектриком, то емкость конденсатора увеличится.

Отметим, что емкость конденсатора не зависит от рода и толщины обкладок.

КОММЕНТАРИИ К ЧЕТВЕРТОЙ БЕСЕДЕ

Прохождение переменного тока через конденсатор

В предыдущей беседе мы оставили конденсатор заряженным. Отключив источник электрического тока и замкнув обкладки конденсатора с помощью сопротивления, мы вызовем разряд конденсатора. Электроны, находящиеся в избытке на отрицательной обкладке, пройдя через сопротивление, восполнят недостаток электронов на противоположной обкладке. Ток разряда, большой вначале, уменьшается по мере снижения разности потенциалов между обкладками и совсем прекращается, когда потенциалы обеих обкладок выравниваются.

Можно получить непрерывную последовательность зарядов и разрядов конденсатора, подключив его к источнику переменного тока. Обкладки заряжаются, разряжаются и вновь заряжаются в соответствии с частотой переменного напряжения, и в цепи (так называют совокупность элементов, через которые проходит электрический ток) устанавливается переменный ток. Это позволяет нам говорить, что переменный ток проходит через конденсатор, хотя электроны при этом не переходят сквозь диэлектрик с одной обкладки на другую.

Емкостное сопротивление

Разумеется, переменный ток проходит через конденсатор не так легко, как через хороший проводник. Конденсатор представляет собой для переменного тока некоторое сопротивление. Это *емкостное сопротивление тем меньше, чем*

больше емкость конденсатора и выше частота тока, так как чем больше изменений происходит в секунду, тем большее количество электронов проходит за секунду через поперечное сечение проводов цепи.

Если обозначить буквой C емкость конденсатора (выраженную в фарадах), по которому протекает ток с частотой f (в герцах), то емкостное сопротивление (в омах) X_c будет равно:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6{,}28 f C}.$$

Сравнивая индуктивное сопротивление с емкостным, мы видим, что они имеют прямо противоположные свойства: если индуктивное сопротивление увеличивается с повышением индуктивности и частоты, то емкостное, наоборот, уменьшается при повышении емкости и частоты.

Сдвиг фаз

Различие между индуктивностью и емкостью проявляется также другим, довольно любопытным образом. Вспомним, что ток в катушке из-за ее индуктивности следует за изменениями приложенного переменного напряжения с некоторым отставанием (рассмотрите внимательно рис. 9). Этот сдвиг между током и напряжением называется сдвигом фазы. Говорят также, что в этом случае ток и напряжение находятся не в фазе.

Изучая прохождение тока по цепи, содержащей конденсатор (рис. 12), можно заметить, что движение электронов прекращается (ток равен нулю) в тот момент, когда напряжение становится максимальным; затем, когда напряжение падает, ток возрастает и достигает наибольшего значения, когда напряжение, меняя направление, проходит через нуль; далее по мере повторной зарядки конденсатора, т. е. по мере повышения напряжения в другом направлении, ток снижается и становится равным нулю в тот момент, когда напряжение достигает максимального значения. Этот процесс станет вполне ясным, если, вернувшись к рис. 12, мы вспомним, что максимальное напряжение соответствует крайним положениям поршня (или максимальным изгибам мембраны) и что напряжение проходит через нуль, когда поршень находится в среднем положении (и мембрана выравнивается).

Мы видим, что в этом случае изменения тока опережают изменения напряжения, так как пока напряжение еще равно нулю, ток уже достиг максимума. Как и в случае с индуктивностью, мы сталкиваемся здесь со сдвигом фазы, но только противоположного знака.

Если в цепи имеется лишь одна чистая индуктивность или лишь одна чистая емкость, то сдвиг фазы достигает четверти периода (90°). Этот случай графически изображен на рис. 16 и 17, заслуживающих внимательного изучения.

В действительности же индуктивность или емкость не существуют в «чистом» виде: кроме них, в цепи обязательно имеется некоторое активное сопротивление. Поэтому сдвиг фазы никогда не достигает максимального значения в $^1/_4$ периода.

Соединение сопротивлений

При внимательном изучении любой цепи можно обнаружить, что в ней имеются все три вида сопротивлений: индуктивное, емкостное и активное, причем сопротивление такой цепи называют полным, комплексным или кажущимся сопротивлением. Следует помнить, что даже прямолинейный проводник имеет некоторую индуктивность, а между различными точками цепи всегда наблюдается емкость. Однако на практике учитывают лишь преобладающую величину; так, например у катушки, имеющей для тока данной частоты индуктивное сопротивление 10 000 *ом,* можно свободно пренебречь активным сопротивлением 10 *ом* (но если через эту катушку протекает постоянный ток, то следует учи-

тывать только эти 10 *ом,* так как индуктивность катушки проявляется лишь при переменном напряжении).

Сопротивления могут соединяться в цепи несколькими различными способами. Сопротивлечия соединены последовательно, если ток протекает по ним поочередно, и параллельно, если ток, разветвляясь, проходит по сопротивлениям одновременно (рис. 13).

Когда сопротивления соединены последовательно, количество препятствий на пути тока увеличивается. Поэтому *несколько последовательно соединенных сопротивлений эквивалентны одному сопротивлению, равному их сумме.* Последовательно соединенные индуктивные и емкостные сопротивления также складываются, но, конечно, не таким простым способом, как думал Незнайкин. Вспомнив о противоположном характере реакции индуктивности и емкости на ток, можно легко представить себе, что они должны в какой-то мере нейтрализовать друг друга. Таким образом, кажущееся сопротивление цепи, состоящей из последовательно соединенных индуктивности и емкости, будет меньше, чем отдельно взятое индуктивное или емкостное сопротивление. Простое сложение последовательно соединенных сопротивлений справедливо лишь в том случае, если цепь состоит только из активных сопротивлений, только из емкостных сопротивлений или только из индуктивных сопротивлений. В последнем случае такой подсчет общего сопротивления можно производить лишь в том случае, если между отдельными катушками нет взаимной индукции.

Последовательное соединение реактивных сопротивлений

Поскольку последовательно соединенные индуктивные сопротивления складываются, можно сделать вывод, что индуктивности (которым они, как мы знаем, пропорциональны) тоже должны складываться. Иначе говоря, *несколько последовательно соединенных катушек по своему электрическому действию эквивалентны одной катушке, индуктивность которой равна сумме их индуктивностей.*

Распространяется ли это правило на конденсаторы? Можно догадаться, что нет, так как емкостные сопротивления обратно пропорциональны емкостям. И так как емкостные сопротивления нескольких последовательно соединенных конденсаторов складываются, *то нужно сложить обратные величины отдельных емкостей, чтобы получить обратную величину их эквивалентной емкости.* Если обозначить емкости последовательно соединенных конденсаторов через C_1, C_2, C_3..., а емкость одного конденсатора, который может их заменить, — буквой C, то изложенное выше правило можно определить следующим выражением:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}+\frac{1}{C_3}\cdots$$

В частном случае, при соединении только двух конденсаторов: C_1 и C_2, их общую емкость можно подсчитать по такой формуле

$$C=\frac{C_1C_2}{C_1+C_2}.$$

Следует отметить, что результирующая емкость всегда меньше емкости наименьшего из последовательно соединенных конденсаторов. Это обстоятельство, впрочем, и следовало предполагать, так как оно является условием повышения емкостного сопротивления при последовательном соединении нескольких конденсаторов.

Параллельное соединение сопротивлений

Рассмотрим теперь, что будет при параллельном соединении сопротивлений. В этом случае ток может идти по нескольким путям, а не по одному и, следовательно, сопротивление пути уменьшается. В отличие от последовательного

соединения в этом случае складываются не сопротивления, а проводимости. Проводимостью, как это легко понять, является величина, обратная сопротивлению (т. е. $1/R$).

При параллельном соединении нескольких активных сопротивлений R_1, R_2, R_3... общее сопротивление этого участка цепи легко рассчитать, складывая проводимости отдельных участков; при этом общая проводимость

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}\ \cdots$$

В частном случае, при соединении только двух сопротивлений: R_1 и R_2, их общее сопротивление можно подсчитать по следующей формуле:

$$R=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}.$$

Если мы соединим параллельно два сопротивления одинаковой величины, то результирующее сопротивление будет равно половине этой величины.

Рассуждая таким же образом, мы получим аналогичные результаты для индуктивных сопротивлений и индуктивностей параллельно соединенных катушек (не имеющих взаимной индуктивной связи).

Мы найдем также, что при параллельном соединении конденсаторов обратная величина результирующего емкостного сопротивления нескольких конденсаторов равна сумме обратных величин их емкостных сопротивлений. Что же касается самих емкостей, было бы неосторожно прибегать к тем же математическим операциям. Уже при последовательном их соединении мы видели, что емкости отличаются необычным поведением. Причина этого заключается в том, что емкостное сопротивление обратно пропорционально емкости.

Поэтому без особого труда можно сделать вывод, что если нужно складывать обратные величины емкостных сопротивлений, то *для расчета результирующей емкости нескольких параллельно соединенных конденсаторов нужно сложить непосредственно их емкости.*

Может быть, все эти рассуждения об активном сопротивлении, индуктивности, емкости, с одной стороны, и о соответствующих им сопротивлениях, с другой стороны, соединяемых то последовательно, то параллельно, создадут некоторую путаницу в голове читателя. Это вполне простительно. Любознайкин постарается все привести в должный порядок с самого начала следующей беседы, понимание которой, впрочем, в большой степени подготовлено этими рассуждениями.

КОММЕНТАРИИ К ПЯТОЙ БЕСЕДЕ

Электрический резонанс

Опередив объяснения Любознайкина, мы в наших комментариях изложили понятие о сдвиге фаз и показали, что при прохождении через индуктивность ток отстает от напряжения, а при прохождении через емкость он опережает его. Кроме того, основываясь на том, что индуктивное и емкостные сопротивления имеют прямо противоположные свойства, мы установили, что при последовательном соединении индуктивного и емкостного сопротивлений они должны более или менее компенсировать друг друга.

Рассмотрим подробнее сопротивление цепи (рис. 18), в которой к зажимам источника переменного напряжения подключены последовательно соединен-

ные катушка и конденсатор. Допустим также, что мы по желанию можем изменять частоту переменного напряжения.

Если при данной частоте индуктивное сопротивление меньше емкостного, то в цепи будет преобладать эффект емкости, ток будет опережать напряжение, а реактивное сопротивление цепи будет равно емкостному сопротивлению минус индуктивное сопротивление (пренебрегая активным сопротивлением).

Начнем постепенно повышать частоту. Что произойдет в цепи? Повышение частоты повлечет за собой увеличение индуктивного и уменьшение емкостного сопротивлений. Следовательно, наступит такой момент, когда *при определенной частоте индуктивное сопротивление будет равно емкостному.* Эти две равные величины взаимно скомпенсируют одна другую, и в результате *реактивное сопротивление цепи окажется равным нулю. Сдвиг фаз тоже будет равен нулю,* т. е. ток будет в фазе с напряжением. При реактивном сопротивлении, равном нулю, ток, по крайней мере теоретически, должен стать бесконечно большим. Фактически же цепь всегда имеет некоторое активное сопротивление, и поэтому ток будет ограничен.

Если мы будем продолжать повышение частоты, то индуктивное сопротивление станет больше емкостного, ток будет отставать от напряжения, а реактивное сопротивление вновь увеличится.

Мы видим, что *имеется лишь одна частота, при которой сопротивление цепи, если и не становится равным нулю, то имеет наименьшее значение, а ток становится максимальным.* Это и есть резонансная частота. Говорят также, что при этой частоте имеет место резонанс напряжений.

Колебательный разряд

Эти же явления можно наблюдать при подключении катушки к обкладкам заряженного конденсатора (рис. 19). При разряде конденсатора через активное сопротивление ток уменьшается до нуля за очень короткий отрезок времени. При разряде же через индуктивность будет наблюдаться колебательный разряд. Индуктивность, как мы помним, препятствует уменьшению тока, как бы поддерживая его током самоиндукции того же направления Этот ток перезаряжает конденсатор, изменяя полярность его обкладок. Конденсатор вновь разряжается (причем ток течет в обратном направлении), опять перезаряжается под воздействием самоиндукции и т. д. Переменный ток циркулирует в цепи без какого бы то ни было поступления энергии извне; и не было бы никакой причины для прекращения этого движения..., если бы цепь не имела активного сопротивления, на котором постепенно рассеивается энергия, первоначально запасенная в заряженном конденсаторе.

Вследствие постепенного расхода энергии каждое последующее колебание слабее предыдущего и в конечном итоге по израсходовании всей энергии колебания прекратятся. Такой характер имеют затухающие колебания (рис. 21, *а*), применявшиеся когда-то в радиотелеграфии, где каждый колебательный разряд создавался посредством искры. Этот примитивный метод затухающих колебаний был впоследствии заменен незатухающими колебаниями (рис. 21, *б*). Создающий их ток является переменным током; он появляется в колебательном контуре, как называют цепь, состоящую из конденсатора, включенного между концами катушки индуктивности. Во избежание постепенного ослабления колебаний, как это имеет место при затухающих колебаниях, достаточно компенсировать потери энергии, подавая извне в колебательный контур дозы энергии, необходимые и достаточные для поддержания постоянства амплитуды этих колебаний.

Необходимо, чтобы пополнение энергии производилось с частотой собственных колебаний контура, соответствующих, разумеется, его резонансной частоте (для которой полное сопротивление имеет наименьшее значение). Если внешние импульсы подать в колебательный контур на частоте, отличной от его резонансной частоты, то они не только не будут способствовать поддержанию колебаний, но будут противодействовать им и в конечном итоге приведут к тому, что мы получим в контуре лишь весьма слабый ток (вынужденные колебания).

Сопротивление колебательного контура

Источник переменного напряжения, служащий для восполнения потери энергии в колебательном контуре, может соединяться с ним индуктивно (рис. 22, *а*) или непосредственно (рис. 22, *б*). Если колебательный контур рассеивает мало энергии (активное сопротивление сведено к минимуму), то говорят, что он имеет малое затухание. В этом случае энергия, которую контур будет отбирать от источника переменного напряжения, также мала (так как она равна затраченной энергии, которую должна компенсировать). Поэтому *чем меньше затухание колебательного контура, тем меньше энергии отбирает он у питающей его внешней цепи.* Мы сталкиваемся здесь с почти парадоксальным положением. В то время как в самом колебательном контуре переменный ток достигает большой величины (тем большей, чем меньше затухание контура), во внешней цепи (изображенной тонкими линиями на рис. 22, *б*) ток очень мал (и тем меньше, чем меньше затухание колебательного контура). Или же, рассматривая это явление с другой точки зрения, *сопротивление колебательного контура очень мало для тока, протекающего в нем самом, но для тока, протекающего во внешней цепи, контур представляет большое сопротивление.* Все это, разумеется, справедливо для резонансной частоты.

Если бы Любознайкин хотел дать Незнайкину возможность лучше понять суть дела, ему следовало бы поискать удобную аналогию... в кухне, уподобив колебательный контур кастрюле, наполненной кипящей водой. Если кастрюля отдает мало теплоты в окружающее пространство, то воду можно поддерживать в кипящем состоянии с помощью очень маленького огня (случай колебательного контура с малыми потерями, в котором колебания поддерживаются подачей малого количества дополнительной энергии). Но если кастрюля теряет много теплоты, например из-за большой поверхности охлаждения, то для поддержания воды в состоянии кипения необходимо большое пламя. Это — случай колебательного контура с большим затуханием.

Резонанс при последовательном и параллельном соединениях индуктивности и емкости

Систематизируем кратко наши сведения о резонансе. На рис. 18 мы видим конденсатор и катушку, включенные последовательно с источником напряжения. Для тока резонансной частоты этот контур имеет минимальное сопротивление, и ток достигает максимального значения (резонанс напряжения).

На рис. 22, *б* конденсатор и катушка включены параллельно источнику напряжения. В этом случае колебательный контур представляет для источника питания наибольшее сопротивление и пропускает лишь очень малый ток, но этого малого тока достаточно для поддержания в колебательном контуре большого тока (резонанс токов).

Рассматривая последний случай, можно понять, что колебательный контур на частотах, отличных от резонансной, не будет иметь таких свойств. Вынужденные колебания в колебательном контуре будут слабыми, а сопротивление колебательного контура на этих частотах станет незначительным.

КОММЕНТАРИИ К ШЕСТОЙ БЕСЕДЕ

Формула Томсона

Период собственных колебаний контура увеличивается при увеличении индуктивности или емкости. Это вполне логично, так как все, что мы узнали об этих элементах, показывает, что их увеличение может лишь замедлить колебания.

Небольшое количество формул, приведенных выше в процессе изложений, позволит нам очень просто вывести формулу резонанса.

Резонанс, как мы видели, имеет место, когда при определенной частоте индуктивное сопротивление становится равным емкостному сопротивлению. Запишем это условие, выразив индуктивное и емкостное сопротивления уже известными нам формулами:

$$X_L = 6{,}28fL; \quad X_C = \frac{1}{6{,}28fC}.$$

Тогда наше равенство принимает следующий вид:

$$X_L = X_C; \quad 6{,}28fL = \frac{1}{6{,}28fC}.$$

По этому уравнению можно без труда установить, чему равна искомая частота f. Для этого умножим обе части уравнения на f и разделим их на $6{,}28L$. В результате такого преобразования имеем:

$$f^2 = \frac{1}{6{,}28^2LC}.$$

Затем извлечем квадратный корень из обеих частей уравнения и получим:

$$f = \frac{1}{6{,}28\sqrt{LC}}.$$

Так как период T представляет собой величину, обратную частоте f, мы можем также записать:

$$T = 6{,}28\sqrt{LC}.$$

Вот мы и получили формулу Томсона, выведенную со всей математической строгостью... или почти со всей, так как мы пренебрегли активным сопротивлением, влияние которого тем не менее сказывается, особенно когда оно имеет относительно большую величину. Но в контурах, используемых в радиотехнике, стараются сократить до минимума активное сопротивление. Поэтому только что выведенная нами формула полностью применима.

Помимо прочего, эта формула показывает нам, что если мы увеличим емкость (или индуктивность) в 4, 9, 16 или 25 раз, то период увеличится соответственно только в 2, 3, 4 или 5 раз (а частота уменьшится во столько же раз).

Избирательность

Явление резонанса дает радиотехнике ценную возможность выбрать из большого количества передач на разных частотах требуемую станцию. Благодаря избирательности радиоприемники не воспроизводят одновременно всех передач, волны которых заполняют пространство и наводят в приемной антенне токи высокой частоты.

Колебательные контуры, в необходимом количестве (в наиболее распространенных приемниках используется обычно пять контуров) расположенные в соответствующих местах электрической схемы приемника, позволяют пропустить только частоту избранного передатчика, исключив все остальные.

Так, колебательный контур, установленный в антенной цепи, свободно пропустит на землю токи всех частот, за исключением соответствующей его резонансной частоте. Колебательный контур представляет для тока этой частоты высокое сопротивление, вследствие этого на его зажимах возникает переменное напряжение, которое затем передается в рабочие контуры приемника.

Точно так же, если колебательный контур, как показано на рис. 23, соединен с антенной индуктивно, то только токи резонансной частоты возбудят в чем значительный ток и создадут на зажимах A и $Б$ переменное напряжение.

Настройка контуров

Для перехода с одной станции на другую необходимо иметь возможность изменять резонансную частоту колебательных контуров, или, как говорят, настраивать их на различные частоты (для обозначения колебательного контура, настроенного на частоту передатчика, используют также термин настроенный контур).

Настройка контура производится изменением величины одного из его элементов (индуктивности или емкости). Для перекрытия целого диапазона без провалов, т. е. для плавного изменения настройки в определенной полосе частот, удобнее изменять емкость, что осуществляется с помощью конденсаторов переменной емкости, состоящих из подвижной и неподвижной обкладок. Каждая из этих обкладок состоит из нескольких пластин; подвижные пластины, входящие в зазоры между неподвижными, укреплены иа одной оси. Вращением оси подвижные пластины можно ввести в зазор и вывести из зазора между неподвижными, изменяя таким образом площадь рабочей поверхности, а следовательно, и емкость конденсатора.

Для осуществления точной настройки вращение ручки настройки передается на конденсагор через соответствующий механический редуктор — верньер (например, систему шестеренок), благодаря чему для поворота подвижиых пластин в пределах рабочего угла нужно повернуть ручку настройки несколько раз вокруг оси.

Одновременно с осью конденсатора переменной емкости приводится в движение стрелка, перемещающаяся по шкале, отградуированной по частоте (или по длине волны), на которой имеются отметки, указывающие положения для настройки на основные радиовещательные станции.

Наиболее широко применяемые конденсаторы переменной емкости имеют емкость порядка 500 *пф* и меньше.

В крайнем положении, когда подвижные пластины полностью выходят из неподвижных, между обкладками все же остается некоторая емкость, называемая начальной. В зависимости от конструкции конденсатора начальная емкость может быть 10—25 *пф*.

Дальше мы увидим, что для настройки используют также изменение индуктивности. Чаще всего изменение индуктивности производится не плавно, как емкости, а скачками путем переключения числа витков катушек. Изменение индуктивности в этом случае служит для перехода с одного диапазона волн на другой.

КОММЕНТАРИИ К СЕДЬМОЙ БЕСЕДЕ

Электронные лампы

До сих пор наши молодые друзья не без удовольствия «прогуливались» в области общей электротехники. Необходимо отметить, что Любознайкин подверг большое число различных законов, управляющих этой отраслью техники, умелому отбору во избежание перегрузки памяти Незнайкина материалом, не требующимся ему немедленно в процессе изучения радиотехники.

Приступив к изучению электронных ламп, наши друзья непосредственно вошли в область собственно радио, так как вся техника связи без проводов в настоящее время основана на использовании этих ламп. Однако их применение не ограничивается областью радио: мы встречаем сегодня электронные лампы во всех отраслях науки и техники и область их использования расширяется изо дня в день. Всю область их применения называют термином электроника.

Из чего же состоит электронная лампа?

Прежде всего из колбы с цоколем, снабженным несколькими контактами в виде штырьков. Сама колба изготавливается из стекла или стали (металлические лампы). Основным требованием является полная герметичность, так как внутри колбы создают как можно более высокий вакуум, необходимый для свободного пролета электронов внутри колбы. При наличии воздуха электроны непрерывно сталкивались бы с его молекулами и их движение было бы затруднено. Кроме того, что еще важнее, молекулы воздуха в результате таких столкновений приобрели бы электрический заряд (оказались бы ионизированными) и тем самым нарушили бы нормальную работу лампы.

Внутри лампы находится более или менее сложная система электродов. Какова бы она ни была, для получения потока электронов необходимы по крайней мере два электрода: катод и анод.

Катод и его подогрев

Функция катода состоит в том, чтобы создать поток электронов. Электронная эмиссия получается за счет нагревания катода до высокой температуры. Все тела не в одинаковой мере обладают эмиссионной способностью; некоторые из них обладают ею в большей степени (например, окислы бария и стронция). Нагревание катода осуществляется постоянным или переменным электрическим током, протекающим через проволоку с высоким сопротивлением, называемую нитью накала и в известной мере подобную нити осветительной лампы. Катод содержит смесь окисей, нанесенную на цилиндр из никеля, внутри которого помещается нить накала. Изоляция между катодом и нитью накала представляет собой слой изоляционного огнеупорного материала (в старых лампах — фарфоровая трубка).

Таково по крайней мере относительно сложное устройство катодов с косвенным накалом (подогревных). Функции подогревателя (нити накала) и эмиттера электронов (собственно катода) могут выполняться одной нитью, должным образом обработанной с целью введения веществ, легко эмитирующих электроны. Такие лампы называются лампами прямого накала. Все лампы, выпускавшиеся до 1930 г., принадлежали к этой категории.

Необходимо подчеркнуть совершенно второстепенную роль тока накала, единственная функция которого заключается в сообщении катоду тепла, необходимого для излучения электронов. Можно было бы использовать другие источники тепла (газовые, бензиновые и другие нагревательные приборы), но можно также использовать катоды вообще без подогрева. Так, например, в фотоэлементах, широко используемых в телевидении, катод состоит из слоя щелочного металла и излучает электроны, когда на него падает луч света. Может быть, исследование радиоактивных веществ даст нам катод с мощной эмиссией, не требующий нагрева...

Диод

Эффект электронной эмиссии, открытый Эдисоном, не имел бы, может быть, большой ценности, если бы в 1904 г. англичанину Флемингу не пришла в голову мысль расположить рядом с катодом второй электрод — анод, или металлическую пластину, имеющую по отношению к катоду положительный потенциал. В этом случае электроны, испускаемые катодом в пространство, притягиваются анодом. Если источник постоянного напряжения все время поддерживает напряжение на аноде положительным по отношению к катоду, то устанавливается ток, получивший название анодного тока. Излученные катодом электроны проходят через вакуум лампы и достигают анода; затем по внешней цепи, в которой имеется источник напряжения, электроны возвращаются к катоду (рис. 26). Такая лампа называется диодом. Она впервые позволила «увидеть» электри-

ческий ток в «чистом» виде, и мы констатируем, что *электроны действительно идут от отрицательного полюса к положительному* в отличие от условного направления, принятого для электрического тока.

Следует обратить внимание на то, что в диоде электронный поток может идти лишь в одном направлении: *от катода к аноду*. Если мы сделаем анод отрицательным по отношению к катоду, то весь процесс прекратится, так как электроны будут отталкиваться анодом, а последний, будучи холодным, не в состоянии излучать электроны, которые притягивались бы катодом. Таким образом, наш диод является настоящим вентилем. Легко понять, что в случае приложения к этим двум электродам переменного напряжения мы получим однонаправленный ток, проходящий в полупериод, когда анод становится положительным, и прекращающийся в течение отрицательного полупериода. Эта способность диода «выпрямлять» переменный ток, как мы увидим дальше, используется для детектирования и для питания радиоприемников от сети переменного тока.

Как и во всяком сопротивлении, анодный ток диода зависит от напряжения, приложенного между катодом и анодом, — анодного напряжения, примерно подчиняясь закону Ома. Ток повышается пропорционально напряжению, но только до некоторой определенной величины; последующее повышение напряжения не влечет за собой увеличения тока, так как все излученные катодом электроны уже участвуют в анодном токе. Как говорят в таких случаях, ток достигает насыщения. Практически явление насыщения, как оно только что было описано, характерно лишь для катодов прямого накала.

Триод

Через 2 года после изобретения диода американцу Ли де Форесту пришла в голову идея поместить между катодом и анодом третий электрод — сетку. Сетка представляет собой решетку или цилиндрическую спираль, окружающую катод. В трехэлектродной лампе или триоде сетка расположена на пути электронов, что позволяет ей регулировать поток электронов. В этом случае электрический ток зависит не только от анодного напряжения, но также и от потенциала сетки по отношению к катоду.

Чем больше отрицательный потенциал сетки, тем больше тормозит она поток электронов, тем больше электронов отталкивает она обратно к катоду и тем меньшему количеству электронов, притягиваемых анодом, удается пробить себе дорогу. Если потенциал сетки достаточно отрицателен, то, несмотря на притяжение анода, она не пропустит ни одного электрона и ток будет равен нулю. Уменьшая отрицательный потенциал сетки, мы заметим появление тока, увеличивающегося с повышением потенциала сетки (так как уменьшение отрицательного значения является повышением потенциала).

В триоде замечательно то, что влияние, оказываемое на анодный ток сеткой, значительно больше влияния, оказываемого анодом. *Малого изменения потенциала сетки достаточно для создания большого изменения анодного тока.* Если мы будем поддерживать потенциал сетки постоянным и захотим добиться такого же изменения анодного тока путем изменения анодного напряжения, то нам придется изменять его в значительно бóльших пределах. Впрочем, это легко объясняется тем, что сетка находится ближе к катоду, чем анод. Именно на этом основана усилительная способность лампы.

Крутизна

Изменение анодного тока, вызываемое определенным изменением потенциала сетки, характеризует крутизну лампы. Крутизна выражается в миллиамперах на вольт (*ма/в*). Количественно крутизна показывает, на сколько миллиампер увеличивается (или уменьшается) анодный ток при увеличении (или уменьшении) потенциала сетки на 1 *в*. Применяемые в настоящее время лампы имеют крутизну от 1 до 15 *ма/в*.

Если через $dI_а$ мы обозначим изменение анодного тока, а через $dU_с$ — изменение потенциала сетки, то крутизна, обозначаемая буквой S, будет иметь следующее выражение:

$$S=\frac{dI_а}{dU_с}.$$

Коэффициент усиления

Мы только что сказали, что *для получения одинакового изменения анодного тока* анодное напряжение нужно изменить больше, чем напряжение сетки. Отношение этих двух напряжений носит название коэффициента усиления, обозначаемого буквой μ. Если, например, для повышения тока на 1 *ма* нужно повысить анодное напряжение на 28 *в* или повысить напряжение сетки на 2 *в*, то коэффициент усиления будет равен 28 : 2 = 14.

Коэффициент усиления триодов редко превышает 100, но у многоэлектродных ламп он часто достигает нескольких тысяч.

Обозначив изменение анодного напряжения через $dU_а$, получим следующую формулу для коэффициента усиления:

$$\mu=\frac{dU_а}{dU_с}.$$

Внутреннее сопротивление

Существует еще третий параметр, обойденный Любознайкиным молчанием, но который полезно знать; называется он внутренним сопротивлением лампы. Вспомнив закон Ома, согласно которому сопротивление выражается отношением напряжения к току, мы не удивимся, узнав, что *сопротивление лампы определяется как отношение изменения анодного напряжения к вызываемому им изменению анодного тока.* Обозначив внутреннее сопротивление буквой R_i, мы получим:

$$R_i=\frac{dU_а}{dI_а}.$$

Внутреннее сопротивление выражается в омах. Для триодов это сопротивление колеблется в пределах от нескольких тысяч до нескольких десятков тысяч ом. У ламп, имеющих более трех электродов, внутреннее сопротивление имеет величину порядка десятков и сотен тысяч ом.

Соотношение между S, μ и R_i

Следует отметить, что крутизна и внутреннее сопротивление данной лампы могут изменяться в некоторых пределах в зависимости от потенциала сетки; коэффициент усиления же практически не зависит от напряжения на электродах, так как он определяется размерами электродов и их расположением.

Не ради удовольствия нагромождать формулы мы только что привели математические выражения для S, μ и R_i. Эти выражения позволяют вывести очень простое соотношение, объединяющее все три величины. Умножим S на R_i

$$SR_i=\frac{dI_а}{dU_с}\cdot\frac{dU_а}{dI_а}=\frac{dU_а}{dU_с}=\mu.$$

Как мы видим, *коэффициент усиления равен произведению крутизны на внутреннее сопротивление.* Если крутизна выражена в миллиамперах на вольт,

то внутреннее сопротивление нужно выразить в тысячах вольт, в противном случае получатся нелепые результаты.

Благодаря выведенному соотношению достаточно знать две величины, чтобы рассчитать третью. Так, например, если крутизна лампы 3 *ма/в,* а ее внутреннее сопротивление 80 000 *ом,* то без труда можно рассчитать коэффициент усиления:

$$\mu = 3 \cdot 80 = 240.$$

КОММЕНТАРИИ К ВОСЬМОЙ БЕСЕДЕ

Сеточная характеристика лампы

В триоде, как вы видели, величина анодного тока зависит от сеточного и анодного напряжений, правда не в одинаковой мере. Первое имеет большее влияние, чем второе.

Можно графически представить зависимость анодного тока $I_а$ от сеточного напряжения $U_с$ или анодного напряжения $U_а$. При изображении зависимости $I_а$ от $U_с$ следует поддерживать анодное напряжение $U_а$ постоянным и, последовательно придавая сеточному напряжению $U_с$ различные значения (в порядке нарастания или снижения), отмечать соответствующие значения анодного тока $I_а$.

Нанесем на клетчатой бумаге две взаимно перпендикулярные оси и отметим на горизонтальной оси значения сеточного напряжения, а на вертикальной — анодного тока. Точку пересечения двух осей будем считать нулем; отрицательные величины сеточного напряжения будем откладывать слева от этой точки, а положительные — справа (см. рис. 31).

Каждой паре значений $U_с$ и $I_а$ будет соответствовать одна точка на пересечении двух перпендикуляров к осям. Например, если сеточному напряжению —1 *в* соответствует анодный ток 4 *ма,* то точку для этих значений мы получим следующим образом: перпендикуляр к горизонтальной оси проведем через точку — 1 *в*, а перпендикуляр к вертикальной оси — через точку 4 *ма* (первый перпендикуляр, следовательно, будет вертикальной, а второй — горизонтальной линией). Точка пересечения этих перпендикуляров определит соответствующую точку характеристики.

Нанесем таким образом несколько точек и соединим их. Такая кривая, показывающая зависимость анодного тока от сеточного напряжения, будет называться **сеточной характеристикой лампы**. По мере уменьшения отрицательного напряжения на сетке ток возрастает, сначала медленно, а затем — после нижнего изгиба — быстрее; в этой области характеристики имеется прямолинейный участок, в пределах которого анодный ток пропорционален сеточному напряжению. Дальше характеристика вновь изгибается, особенно у ламп прямого накала, имеющих ярко выраженное явление насыщения.

Другие характеристики лампы

Установив более высокое анодное напряжение, можно таким же образом снять вторую кривую. В этом случае ток будет иметь бóльшую величину и кривая окажется смещенной влево от первой. Чтобы полнее охарактеризовать работу ламп, необходимо снять несколько кривых, или, как говорят, **семейство характеристик** (см. рис. 32), каждая из которых соответствует определенному анодному напряжению.

Отметим, что можно снять другую систему характеристик, если установить

сеточное напряжение U_c постоянным и изменять анодное напряжение U_a, замечая соответствующие изменения анодного тока I_a. Отложив по горизонтальной оси значения U_a, а по вертикальной оси — значения I_a, мы получим анодную характеристику лампы.

И в этом случае можно вычертить семейство характеристик, каждая из которых соответствует определенному сеточному напряжению (рис. 137).

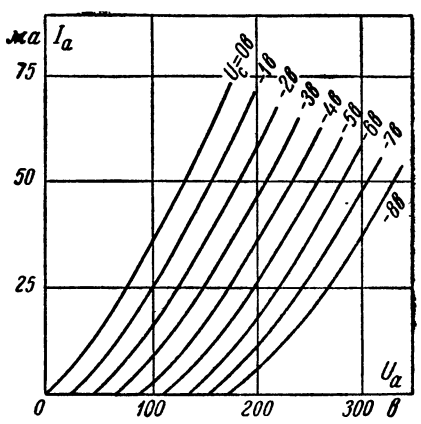


Рис. 137. Кривые зависимости анодного тока I_a триода от анодного напряжения. Каждая кривая снята при указанном значении сеточного напряжения U_c.

С помощью простой операции, которую мы, однако, не будем здесь описывать, можно перейти от одной системы кривых к другой.

На рис. 138 изображено семейство анодных характеристик для пентода.

Характеристики дают возможность судить о свойствах лампы; они показывают, как лучше использовать лампу и как она будет работать в той или иной схеме.

Покажем в качестве примера, как по характеристикам определить крутизну, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление лампы.

Графическое определение S, μ и R_i

Крутизна, как мы знаем, показывает, насколько изменяется анодный ток при изменении сеточного напряжения на 1 *в*. Возьмем из семейства характеристик, приведенного на рис. 139, кривую, соответствующую, например, U_a = 160 *в*. Мы видим, что сеточному напряжению —3 *в* соответствует анодный ток 3 *ма* (точка *А*), а напряжению —2 *в* — ток 6 *ма* (точка *Б*). Следовательно, повышение сеточного напряжения на 1 *в* вызывает изменение анодного тока на 3 *ма*. Таким образом, крутизна характеристики составляет 3 *ма/в*. Рассматривая треугольник *АБВ*, можно установить, что крутизна равна отношению *БВ* к *АВ*. Крутизна тем больше, чем круче кривая. Таким образом, легко понять, почему принят термин «крутизна».

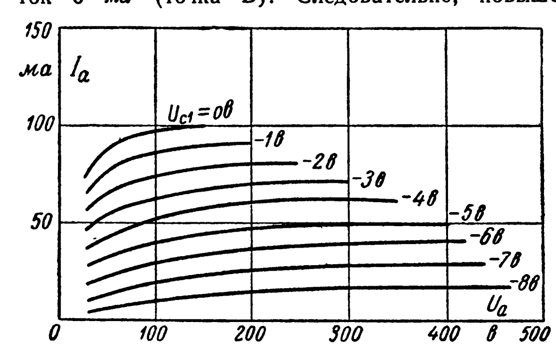
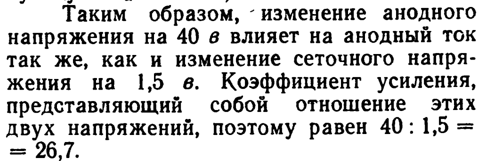


Рис. 138. Такие же кривые, как на рис. 137, снятые для пентода.

Следует отметить, что крутизна характеристик остается одинаковой на всем протяжении прямолинейного участка кривой, а на сгибе она резко уменьшается (точка *Г*).

Перейдем теперь к определению коэффициента усиления, представляющего собой отношение изменений анодного и сеточного напряжения, дающих одинаковое изменение анодного тока. Соединим горизонтальной линией точки *Д* и *Е* на двух соседних кривых. Эти две точки соответствуют одинаковому анодному току. Что происходит, когда мы переходим от точки *Е* к точке *Д*? Во-первых, мы повышаем сеточное напряжение на 1,5 *в* (потому, что оно изменяется от

—3 до —1,5 *в*); это должно было бы вызвать увеличение анодного тока. Однако он остается неизмененным, так как эффект от изменения сеточного напряжения компенсируется снижением анодного напряжения, которое уменьшилось на 40 *в* (так как с кривой, соответствующей $U_а$ = = 200 *в*, мы перешли на кривую, соответствующую $U_а$ = 160 *в*).

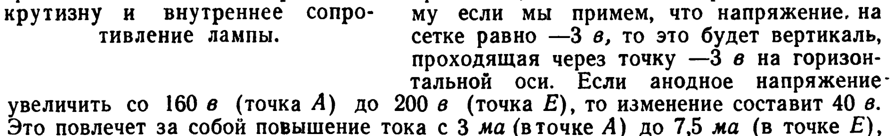


Таким образом, изменение анодного напряжения на 40 *в* влияет на анодный ток так же, как и изменение сеточного напряжения на 1,5 *в*. Коэффициент усиления, представляющий собой отношение этих двух напряжений, поэтому равен 40 : 1,5 = = 26,7.

В заключение попытаемся определить по характеристикам величину внутреннего сопротивления, которое, как мы говорили, является отношением изменения анодного напряжения к вызываемому им изменению анодного тока при постоянном сеточном напряжении.

Рис. 139. Кривые зависимости анодного тока от сеточного напряжения позволяют определить крутизну и внутреннее сопротивление лампы.

На графике все величины, соответствующие одному и тому же сеточному напряжению, находятся на вертикали. Поэтому если мы примем, что напряжение на сетке равно —3 *в*, то это будет вертикаль, проходящая через точку —3 *в* на горизонтальной оси. Если анодное напряжение увеличить со 160 *в* (точка *А*) до 200 *в* (точка *Е*), то изменение составит 40 *в*. Это повлечет за собой повышение тока с 3 *ма* (в точке *А*) до 7,5 *ма* (в точке *Е*), т. е. изменение на 4,5 *ма*, или 0,0045 *а*. Следовательно, внутреннее сопротивление равно 40 : 0,0045 ≈ 8 900 *ом*.



Мы можем проверить справедливость равенства $\mu = SR_i$, приняв R_i = 8,9 *ком*. В этом случае $SR_i = 3 \cdot 8{,}9 = 26{,}7$.

Раньше мы уже непосредственно установили, что $\mu = 26{,}7$; это доказывает, что в области радиотехники царствует порядок.

Вход и выход лампы

Чтобы использовать способность лампы усиливать переменное напряжение, последнее нужно подать между сеткой и катодами. Изменяя таким образом потенциал сетки по отношению к катоду, мы вызываем значительные изменения анодного тока (в μ раз бóльшие, чем при подаче напряжений между анодом и катодом). Эти изменения анодного тока, как мы увидим дальше, в свою очередь могут усиливаться второй лампой.

Таким образом, подлежащее усилению напряжение подается в цепь сетка — катод, которую мы условимся называть **входом**, а анодную цепь будем называть **выходом** лампы.

Переменные напряжения на входе относительно малы; на входе первой лампы, предназначенной для усиления незначительных колебаний, создаваемых волнами в антенном контуре, напряжение может иметь величину порядка нескольких микровольт или десятков микровольт (конечно, близко расположенный мощный передатчик может создать напряжения в несколько милливольт). На последние же лампы в усилителе приемника на вход поступают усиленные напряжения, которые могут достигать нескольких вольт и даже десятков вольт.

Смещение на сетке

Кроме переменного напряжения, подаваемого между сеткой и катодом, на сетке необходимо также предусмотреть некоторое среднее значение напряжения, т. е. постоянное напряжение, устанавливаемое между сеткой и катодом в

отсутствие переменного напряжения (например, в паузах во время передачи). Это напряжение, называемое сеточным смещением, может быть получено, например, с помощью батареи $Б_с$, включенной между сеткой и катодом (см. рис. 33) и определяющей рабочую точку на характеристике лампы. Поэтому если на рис. 139 анодное напряжение равно 160 *в*, а сеточное смещение — 3 *в*, то рабочая точка находится в точке *А*. Средний анодный ток, или ток покоя, равен 3 *ма*.

Когда на сетку подается переменное напряжение, напряжение изменяется вокруг среднего значения, отклоняясь от него в сторону как бо́льших, так и меньших значений.

Если принять напряжение смещения равным — 3 *в*, а амплитуду переменного напряжения 2 *в*, то мгновенные значения напряжения на сетке будут изменяться от —5 до —1 *в*. Одновременно будет изменяться и анодный ток относительно средней величины до крайних значений, соответствующих сеточным напряжениям —5 и —1 *в*.

Во избежание искажений следует соблюдать два условия. Прежде всего необходимо, чтобы изменения анодного тока были пропорциональны изменениям сеточного напряжения. Это условие выполняется, когда мгновенные значения сеточного напряжения не выходят за пределы прямолинейной части характеристики. Укажем попутно, что именно поэтому искажения, обусловленные искривлением характеристики, носят название нелинейных искажений. Произносимый с некоторой таинственностью, этот термин всегда оказывает свое действие... на тех, кому неизвестен его смысл.

Вторая опасность подстерегает нас в точке, где мгновенное значение сеточного напряжения становится равным нулю. Если мы перейдем через это значение в сторону положительных напряжений, то появится сеточный ток. Происходит это потому, что сетка начинает притягивать некоторое количество электронов, которые образуют ток сеточной цепи. Сеточный ток начинает появляться даже при некотором отрицательном потенциале (от —1,5 до —1 *в* в зависимости от типа лампы), что объясняется наличием начальной энергии электронов, эмитируемых катодом. Сеточный ток вызывает серьезные искажения. На поддержание этого тока в сеточной цепи затрачивается некоторое количество энергии, поэтому такой режим работы недопустим.

Отсюда следует, что *мгновенные значения сеточного напряжения не должны выходить за пределы линейной части характеристики и не должны заходить в область положительных напряжений.* Поэтому необходимо так выбирать смещение, чтобы *рабочая точка находилась в середине прямолинейной части характеристики слева от вертикальной оси.*

В этом случае, если амплитуда переменного напряжения не превысит напряжения смещения, мгновенные значения напряжения на сетке не выйдут за пределы прямолинейной части характеристики и не попадут в область положительных напряжений.

КОММЕНТАРИИ К ДЕВЯТОЙ БЕСЕДЕ

Микрофон

В этой беседе Любознайкин занялся изучением первых звеньев цепи радиопередачи. Он начал с начала — с микрофона и поступающих на него звуковых колебаний.

Звуковые колебания — вибрации молекул воздуха с частотой от 16 *гц* (самый низкий тон) до 16 000 *гц* (наиболее высокий тон) преобразуются с помощью микрофона в соответствующие изменения электрического тока.

Описанный Любознайкиным угольный микрофон, работающий на принципе изменения сопротивления, очень чувствителен даже к относительно слабым звукам, но имеет некоторые недостатки, мешающие чистому воспроизведению звучания. Существуют другие системы микрофонов, более совершенные, но менее чувствительные; однако это не имеет большого значения, так как с помощью ламп всегда можно усилить слабые микрофонные токи. К более совершенным относятся электродинамические микрофоны, в которых легкая катушка колеблется под воздействием звуковых волн в магнитном поле магнита; мы знаем, что в этих условиях в катушке появляются наведенные токи.

Модуляция

Микрофонный ток, электрически точно воспроизводящий звуковые волны, имеет слишком низкую частоту, чтобы порождать электромагнитные волны. Для передачи тока низкой частоты через пространство, отделяющее передающую антенну от приемной, его нужно ввести в ток высокой частоты, который способен создавать радиоволны.

Каким образом вводят низкую частоту в ток высокой частоты? Или, пользуясь технической терминологией, каким образом осуществляется модуляция высокой частоты низкой частотой?

В чистом виде, без модуляции, ток высокой частоты имеет форму обычного переменного тока, который нам уже достаточно хорошо известен (см. рис. 38, *а*). В результате модуляции правильный строй отдельных амплитуд тока высокой частоты нарушается. Они удлиняются или укорачиваются в соответствии с формой тока низкой частоты (рис. 38, *б*). Если соединить все верхушки отдельных полупериодов, то получится кривая (изображенная на рис. 38, *в* пунктиром), имеющая форму микрофонного тока.

В этом неравенстве амплитуд тока высокой частоты скрыта низкая частота. Таким образом, модуляция является своеобразным формированием высокочастотного тока.

Описанная нами система модуляции носит название амплитудной модуляции, потому что именно амплитуда высокочастотных колебаний изменяется в ритме низкой частоты. Однако низкой частотой можно воздействовать на другой параметр высокочастотного тока — его частоту. В частотной модуляции, как называют этот метод, амплитуда тока высокой частоты остается постоянной, а изменяется частота в бо́льшую или меньшую сторону от среднего значения пропорционально мгновенным значениям модулирующего тока низкой частоты. Ниже мы рассмотрим этот метод частотной модуляции, применяющийся на ультракоротких волнах.

Передатчик

Ток высокой частоты (немодулированный) создается лампой, входящей в состав генератора. Гетеродин приемника является примером такого устройства, и Любознайкин был прав, задержавшись на анализе его работы.

Не возвращаясь к деталям различных стадий процесса возбуждения незатухающих колебаний, напомним лишь, что основной частью генератора является колебательный контур между сеткой и катодом лампы, индуктивно связанный с катушкой в ее анодной цепи. Последовательно чередующиеся заряды и разряды конденсатора колебательного контура создают ток высокой частоты, который прекратился бы через некоторое количество периодов (как это показано на рис. 21, *а*), если бы в соответствующие моменты катушка в анодной цепи не передавала через индуктивную связь в катушку колебательного контура энергию, необходимую для пополнения потерь. Благодаря этому непрерывно возобновляемому пополнению энергии возбужденные колебания поддерживаются с постоянной амплитудой и частотой, равной резонансной частоте колебательного контура.

В конечном итоге колебания генератора поддерживаются за счет энергии анодного тока. В передатчике (рис. 140) относительно слабые колебания задающего генератора усиливаются перед подачей их в передающую антенну мощным высокочастотным усилителем. Один из каскадов этого усилителя используется для манипуляции с помощью ключа, разрывающего цепь, в случае телеграфии или для модуляции микрофонным током в случае телефонии. Микрофонный ток в большинстве случаев слишком слаб, чтобы им можно было непосредственно модулировать высокую частоту. Поэтому перед подачей на модулятор его усиливают. Схема радиотелефонного передатчика, приведенная на рис. 37, очень упрощена; она служила лишь для пояснения принципа работы.

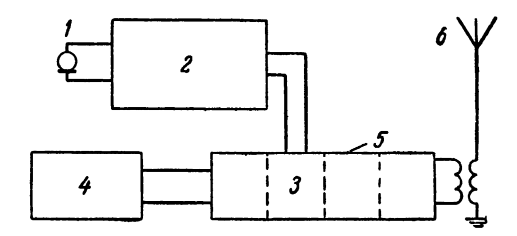


Рис. 140. Блок-схема радиотелефонного передатчика.

1 — микрофон; 2 — микрофонный усилитель; 3 — модулятор; 4 — задающий генератор; 5 — усилитель высокой частоты; 6 — передающая антенна.

КОММЕНТАРИИ К ДЕСЯТОЙ БЕСЕДЕ

Телефонные трубки

Если началом радиотелефонной цепи служит микрофон, то последним ее звеном являются телефонные трубки. Именно они (или их близкий и более мощный родственник громкоговоритель) выполняют функции, обратные функциям микрофона: превращение токов низкой частоты в звуковые колебания.

Телефонные трубки состоят из электромагнита с сердечником из намагниченной стали, установленного позади тонкой упругой стальной мембраны (рис. 141). Все это размещено в металлическом или пластмассовом корпусе. Переменные токи низкой частоты, протекая по обмоткам электромагнита, попеременно увеличивают или уменьшают намагниченность сердечника, который сильнее или слабее притягивает мембрану. Последняя больше или меньше изгибается в ритме изменений тока. Созданные таким образом вибрации передаются окружающему воздуху и распространяются в виде звуковых волн. Если ни одно из многочисленных преобразований, которые претерпевает ток между микрофоном передатчика и телефонными трубками приемника, не исказили его, то воспроизводимый трубками звук будет точно соответствовать звуку, попавшему на микрофон.

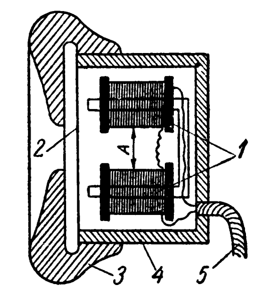


Рис. 141. Устройство телефонных трубок.

1 — электромагнит; 2 — мембрана; 3 — акустический раструб; 4 — корпус; 5 — питающий провод.

Детектирование

Через телефонные трубки должен проходить ток низкой частоты. Совершенно бесполезно пытаться питать наушники модулированным током высокой частоты. Мембрана, имеющая слишком большую инерцию, не стала бы вибри-

ровать на такой высокой частоте. Однако если бы это и оказалось возможным, воспроизведенный «звук» имел бы столь высокую частоту, которую человеческое ухо не воспринимает. Кроме того, ток высокой частоты не пройдет через обмотки телефонных трубок из-за их слишком большого индуктивного сопротивления. Три причины, из которых достаточно каждой отдельно взятой, приводят к необходимости осуществить операцию, обратную модуляции: выделить из модулированного тока высокой частоты его низкочастотную составляющую. Эта операция носит название детектирования (иногда говорят демодуляция).

Для выделения низкочастотной составляющей модулированного тока его достаточно выпрямить, т. е. подавить все полупериоды одной из полярностей. Таким образом, получаются импульсы тока, имеющие только одно направление и следующие один за другим в ритме высокой частоты, амплитуда которых изменяется в соответствии с формой тока низкой частоты (см. рис. 40, *б*). Достаточно накопить эти импульсы на обкладках конденсатора малой емкости, чтобы, разряжая его на телефонные трубки (или любое другое сопротивление), создать ток низкой частоты (рис. 40, *в*). Таков общий смысл процесса детектирования. Рассмотрим подробнее способы его осуществления.

Детекторы

Выпрямление тока производится с помощью проводника с односторонней проводимостью. Такой проводник имеет относительно небольшое сопротивление при прохождении тока в одном направлении и значительно большее (или даже бесконечно большое) в другом направлении. Ламповый диод может служить примером детектора с бесконечно большим сопротивлением в «запрещенном направлении», потому что электроны не могут пройти в направлении от анода к катоду. Детекторы с так называемым непостоянным контактом, из которых в прошлом был наиболее известен галеновый детектор с точечным контактом, пропускают в одном направлении ток значительно большей величины, чем в другом.

Любознайкин был прав, утверждая, что любая асимметрия (физическая, химическая или геометрическая) между двумя соприкасающимися телами, определяет неодинаковую проводимость в обоих направлениях. А так как идеальной симметрии никогда не бывает, то можно сказать, что все неидеальные контакты в большей или меньшей степени детектируют. Это явление часто бывает весьма нежелательным. Отсюда возникает опасность плохих контактов и необходимость применять пайку контактов при сборке радиоприемника.

Кристаллический детектор с непостоянным контактом имеет преимущества перед ламповым диодом в том, что не требует тока накала, и уступает ему в том, что может детектировать лишь очень слабые токи. В наши дни кристаллический детектор применяется лишь в безламповых радиоприемниках, в которых вообще нет усиления и очень слабый ток антенны после детектирования подается непосредственно на телефонные трубки. Такие приемники пригодны для приема только местных передач.

Но разве не является чудом даже такой приемник, в котором ничтожной частицы энергии, полученной антенной из пространства, достаточно для приведения в движение мембраны телефонных трубок..?

Конденсатор, служащий для накапливания однонаправленных импульсов выпрямленного тока, должен иметь достаточно малую емкость, чтобы представлять большое сопротивление для тока низкой частоты, так как иначе этот ток замкнулся бы через конденсатор. Обычно используется конденсатор емкостью до 2 000 *пф.*

Добавим, что в современных ламповых приемниках часто применяют полупроводниковые детекторы, германиевые или кремниевые, не уступающие ламповым диодам и не требующие накала.

Анодное детектирование

Триод позволяет одновременно осуществлять детектирование и усиление модулированного тока. Для этого подлежащее детектированию напряжение подается между сеткой и катодом лампы, причем отрицательное напряжение смещения должно быть больше, чем при использовании лампы в качестве усилителя, так как необходимо, чтобы рабочая точка была смещена к нижнему изгибу характеристики. В таких условиях отрицательные полупериоды высокочастотного напряжения дадут лишь малое снижение анодного тока, а положительные полупериоды вызовут значительное увеличение анодного тока. Последний примет форму серии однонаправленных импульсов высокой частоты с меняющимися амплитудами.

Конденсатор, включенный в анодную цепь и заряжаемый импульсами, создает в телефонных трубках (или любой другой нагрузке) ток низкой частоты. В этом и состоит *сущность детектирования на нижнем изгибе сеточной характеристики,* называемого анодным детектированием. В принципе оно сводится к неравномерному усилению положительных и отрицательных полупериодов модулированных высокочастотных импульсов.

КОММЕНТАРИИ К ОДИННАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Усиление высокой и низкой частоты

В большинстве приемников применяется усиление сигналов как до, так и после детектирования. Высокую частоту необходимо усилить, чтобы напряжение, подаваемое на детектор, имело величину, достаточную для детектирования в нормальных условиях. Следует отметить, что каждый детектор имеет свой «порог чувствительности», определяемый самым низким напряжением, которое он еще может удовлетворительно детектировать. Таким образом, когда по какой-либо причине (большая удаленность или малая мощность передатчика) напряжение, подаваемое на детектор, меньше порогового напряжения, детектирование будет отсутствовать или окажется неудовлетворительным.

Следовательно, усиление высокой частоты позволяет принять даже маломощные или удаленные передатчики; оно служит, таким образом, для повышения чувствительности приемника. Помимо этого, схему цепей связи между каскадами высокой частоты выбирают такой, чтобы повысить избирательность приемника.

Детектированное напряжение, как правило, слишком мало, чтобы его можно было подать непосредственно на громкоговоритель. Так как к последнему нужно подвести более или менее значительную энергию, после детектирования необходимо усиление низкой частоты.

При подаче на вход лампы (между сеткой и катодом) переменного напряжения возникает переменный анодный ток. Если необходимо использовать еще одну усилительную лампу, то следует прежде всего преобразовать переменный ток в переменное напряжение.

Трансформатор

Эта операция может выполняться несколькими способами. Один из наиболее распространенных заключается в применении трансформатора. Напомним, что трансформатор представляет собой совокупность двух индуктивно связанных обмоток. При подаче переменного напряжения на одну из обмоток,

которую назовем **первичной**, на другой обмотке, носящей название **вторичной**, появляется напряжение этой же формы. Если обе обмотки имеют одинаковое количество витков, то напряжение, индуктированное во вторичной обмотке, будет равно напряжению, поданному на первичную. Если же во вторичной обмотке витков будет вдвое больше, чем в первичной обмотке, так как ее можно рассматривать как состоящую из двух последовательно соединенных обмоток, в каждой из которых количество витков такое же, как в первичной обмотке. В этом случае на каждой из обмоток возникнет такое же напряжение, как на первичной, а при последовательном соединении оба напряжения суммируются.

Вообще *отношение напряжения вторичной обмотки к напряжению первичной равно отношению количеств витков в этих обмотках.* Если во вторичной обмотке витков больше, чем в первичной, трансформатор называется **повышающим**; при обратном соотношении количеств витков трансформатор называется **понижающим**. Отношение количества витков вторичной обмотки к количеству витков первичной носит название **коэффициента трансформации**. У повышающих трансформаторов оно больше, а у понижающих — меньше единицы.

Благодаря высокой магнитной проницаемости стальных сердечников их применяют в трансформаторах, предназначенных для токов низкой частоты. Во избежание появления в сердечнике индуктированных токов (так называемых токов Фуко, или **вихревых токов**), являющихся причиной значительной потери энергии, сердечник набирается из тонких изолированных пластин.

Трансформаторы для высокой частоты также могут иметь магнитный сердечник, но в этом случае разделения сердечника на тонкие пластины уже недостаточно, чтобы избежать потерь энергии на вихревые токи. Сердечники высокочастотных катушек необходимо делать из железного порошка, в котором каждое микроскопическое зернышко изолировано диэлектриком от соседних зернышек.

И, наконец, в трансформаторах для очень высоких частот вообще следует отказаться от использования сердечника. Так, например, трансформаторы для ультракоротких волн не имеют никакого сердечника и часто изготавливаются из жесткого голого провода без изоляционного каркаса, так как в диэлектрике, помещенном в электрическое поле высокой частоты, также имеют место потери.

Трансформаторная связь

Трансформаторов в качестве элемента связи между двумя лампами включается следующим образом: первичная обмотка — на выход первой лампы (между анодом и положительным полюсом источника анодного напряжения), вторичная обмотка — на вход второй лампы (между сеткой и катодом). Таким образом, изменения величины анодного тока в первичной обмотке будут преобразованы во вторичной обмотке в переменное напряжение, подаваемое на вход следующей лампы.

Автоматическое смещение

Питание анодов всех ламп приемника осуществляется от одного общего источника анодного напряжения. Для создания же отрицательного смещения на сетках ламп используется **падение напряжения**, создаваемое анодным током каждой лампы на резисторе, включенном между катодом и отрицательным полюсом источника анодного напряжения.

Падением напряжения называют напряжение, создаваемое на концах резистора проходящим через него током. По закону Ома падение напряжения равно произведению тока (в амперах) на сопротивление (в омах): $U = IR$. Таким образом, если между катодом и отрицательным полюсом анодного напряжения включен резистор сопротивлением 2 000 *ом*, то при анодном токе 0,003 *а* падение напряжения составит $0{,}003 \cdot 2\,000 = 6$ *в*.

В соответствии с направлением тока конец резистора, соединенный с отрицательным полюсом анодного напряжения, становится отрицательным по отношению к катоду. К этому концу и следует подключить цепь сетки, чтобы потенциал сетки был отрицательным относительно катода (рис. 50).

Однако немедленно возникает трудность. Смещение должно иметь определенную и возможно более постоянную величину, в то время как создающий падение напряжения анодный ток имеет переменную величину, по крайней мере при наличии на входе лампы переменного напряжения. В этих условиях падение напряжения, используемое в качестве сеточного смещения, также становится переменным. Как можно этому помочь?

Разделение составляющих

Рассматривая внимательнее форму анодного тока, мы можем отметить, что, будучи одной полярности (потому что в лампе электроны могут перемещаться только в одну сторону — от катода к аноду), он изменяется по величине в соответствии с изменениями сеточного напряжения В качестве некоторой абстракции можно рассматривать анодный ток, как состоящий из двух токов: постоянного тока (тока покоя, соответствующего отсутствию переменного напряжения на сетке лампы) и переменного тока, являющегося результатом изменения сеточного напряжения. Переменная составляющая изменяет величину анодного тока относительно постоянной составляющей, добавляясь к ней во время положительных и вычитаясь из нее во время отрицательных полупериодов.

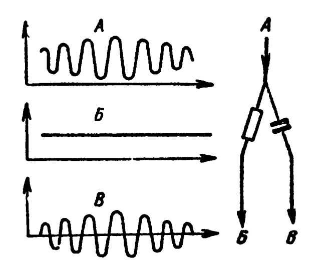


Рис. 142. Пульсирующий анодный ток (*А*) можно рассматривать как сумму двух составляющих: постоянной (*Б*) и переменной (*В*). Справа показана схема разделения составляющих.

Представление анодного тока как суммы постоянной и переменной составляющих поможет нам решить трудность, возникающую при получении напряжения смещения. Действительно, чтобы оно было постоянным, нужно использовать падение напряжения только от постоянной составляющей анодного тока. Что же касается переменной составляющей, то мы помешаем ей пройти через сопротивление смещения и отведем ее через конденсатор. Если этот конденсатор имеет достаточную емкость, то путь через него для переменного тока более свободен, чем через сопротивление, и ... задача решена (рис. 142).

Такой метод разделения постоянной и переменной составляющих очень широко применяется в радиотехнике, и мы еще не раз будем пользоваться им. Вполне понятно, что емкость конденсатора должна быть тем большей, чем ниже частота, с тем чтобы его сопротивление переменной составляющей не было велико. Кроме того, чем меньше сопротивление смещения, тем больше должна быть емкость, чтобы переменная составляющая была действительно «заинтересована» следовать через конденсатор. Так по крайней мере выразился бы Любознайкин.

Трансформаторы низкой и высокой частоты

После этого отступления, посвященного вопросам питания, вернемся снова к трансформатору. Трансформатор, предназначенный для низкой частоты, содержит большое количество витков (несколько тысяч) в каждой обмотке. Между витками, так же как и между обеими обмотками, образуются емкости. В трансформаторе возникают потери, вызываемые вихревыми токами и другими

причинами. Все это приводит к тому, что не все частоты передаются одинаково эффективно и трансформатор вносит искажения. Чтобы искажения были незначительными, необходим трансформатор очень высокого качества. В идеальном случае передача всех звуковых частот должна быть одинаковой. Но это только идеал...

Такое требование, являющееся идеальным для трансформаторов низкой частоты, было бы недопустимо для трансформаторов высокой частоты, где, наоборот, стремятся пропустить только одну частоту (частоту принимаемого передатчика) в ущерб всем другим частотам. Следовательно, трансформаторы высокой частоты должны быть избирательными. С этой целью с помощью конденсаторов переменной емкости настраивают одну из обмоток (первичную или вторичную) или обе обмотки.

Двухтактная схема

Чтобы закончить главу об усилителях на трансформаторах, остается рассмотреть очень распространенную и заслуживающую изучения схему. Речь идет о двухтактной, или симметричной, схеме, которую называют иногда также балансной.

В этой схеме (рис. 54) сигнал с выхода первой лампы ($Л_1$) одновременно подается через трансформатор $Тр_1$ на две лампы ($Л_2$ и $Л_3$), составляющие собственно двухтактный каскад. На рисунке прекрасно видна полная симметрия схемы, работу которой мы и разберем.

На лампы $Л_2$ и $Л_3$ каждое мгновение воздействуют сеточные напряжения противоположных знаков. Действительно, если во время одного из полупериодов электроны во вторичной обмотке трансформатора $Тр_2$ перемещаются сверху вниз, то потенциал сетки лампы $Л_2$ становится менее отрицательным, а сетки лампы $Л_3$ — более отрицательным. При следующем полупериоде распределение потенциалов как раз противоположно. Таким образом, когда анодный ток лампы $Л_2$ повышается, анодный ток лампы $Л_3$ понижается и наоборот. Обе лампы работают в противоположной полярности в два такта, чем и объясняется происхождение названия «двухтактный».

Для использования переменных анодных токов противоположных полярностей установлен второй трансформатор ($Тр_2$) с выводом от средней точки на первичной обмотке. Таким образом, ток каждой лампы проходит лишь по половине первичной обмотки. Оба тока проходят по обмотке в противоположных направлениях, но сами токи имеют противоположную полярность, поэтому действие токов в конечном счете складывается, так как их магнитные поля имеют одинаковое направление. Таким образом, обе переменные составляющие совместно индуктируют во вторичной обмотке ток, воздействующий на громкоговоритель *Гр*.

Если переменные составляющие анодного тока обеих ламп действуют согласованно, то постоянные составляющие, имеющие одинаковую величину, но протекающие по половинам первичной обмотки в разных направлениях, создают противоположно направленные магнитные поля, которые взаимно уничтожаются. В этом заключается одно из преимуществ двухтактной схемы. Благодаря отсутствию постоянного магнитного поля сердечник трансформатора работает в наилучших условиях, так как его намагничивание определяется лишь переменными составляющими. Магнитная проводимость сердечника, снижающаяся при увеличении подмагничивающего поля, оказывается значительно выше, чем при наличии постоянного поля, создаваемого постоянной составляющей.

К этому преимуществу следует добавить еще и другие. Так, например, благодаря работе обеих ламп в противоположной полярности компенсируются некоторые искажения, обусловленные кривизной их характеристик (нелинейные искажения).

КОММЕНТАРИИ К ДВЕНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Различные режимы усиления

В двухтактной схеме можно выбрать рабочую точку на нижнем изгибе характеристики. Для этого на сетку лампы достаточно подать смещение, значительно более высокое, чем в рассмотренных нами ранее режимах работы усилительных ламп. В таком режиме только положительные полупериоды сеточного напряжения создадут заметные изменения анодного тока. Таким образом, обе лампы будут работать поочередно. Но в выходном трансформаторе колебание будет полностью восстановлено, потому что полупериоды будут следовать в нем каждый в должном направлении.

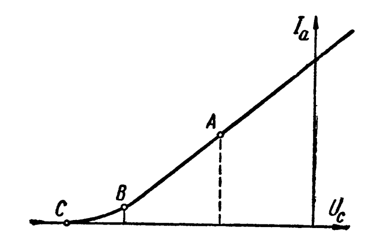


Рис. 143. Рабочие точки ламп, работающих в режимах A, B и C.

При таком методе работы, носящем название р е ж и м а *B*, на сетки можно подавать переменные напряжения с амплитудой, значительно большей (примерно вдвое), чем в р е ж и м е *A*, т. е. при обычном режиме усиления, когда рабочая точка должна находиться в середине линейного участка характеристики. В двухтактной схеме, работающей в режиме *B*, лампы используются более полно и можно получить более высокую мощность, чем в режиме *A*.

Само собой разумеется, что в качестве рабочей точки в двухтактной схеме может быть выбрана любая, промежуточная между точками, соответствующими режимам *A* и *B*. В этом случае говорят, что лампы работают в режиме A_1 или режиме AB (рис. 143).

Для сведения упомянем о работе в режиме C, когда рабочая точка находится левее нижнего изгиба характеристики, т. е. когда только вершины положительных полупериодов могут вызвать анодный ток. Такой режим используется в некоторых передатчиках и измерительных приборах.

Резистивно-емкостная связь

Принцип этой связи весьма прост: между анодной цепью первой и сеточной цепью второй ламп включается переходный конденсатор. Как мы знаем, анодный ток создает на нагрузочном сопротивлении падение напряжения, в котором содержится переменная составляющая. Переменное напряжение подается на сетку следующей лампы через конденсатор с правильно подобранной емкостью. Сюда же подается необходимое напряжение смещения, определяющее положение рабочей точки. Смещение подается с помощью сеточного резистора, подключенного к отрицательному полюсу источника высокого напряжения (рис. 56).

Емкость конденсатора связи, установленного между анодом одной и сеткой следующей лампы, должна быть достаточной для беспрепятственной передачи переменного напряжения. В каскадах высокой частоты достаточно иметь емкость 500 *пф*, а в каскадах низкой частоты необходимо ставить конденсаторы порядка 10 000 *пф* (0,01 *мкф*).

Сеточный резистор имеет сопротивление порядка сотен тысяч ом; одной из наиболее часто применяемых величин является 0,5 *Мом*.

Резисторный усилитель

Наиболее простой нагрузкой, включаемой в анодную цепь лампы, является активное сопротивление — резистор *R* (рис. 55). Такая нагрузка используется в усилителях низкой частоты в большинстве современных приемников. На высокой частоте такой метод усиления неприменим, хотя бы из-за отсутствия выигрыша по избирательности; в усилителях низкой частоты преимущество этого метода заключается в экономичности и в том, что он обеспечивает почти одинаковое усиление всех звуковых частот.

Выбор сопротивления резистора *R* зависит от ряда факторов и, в частности, от внутреннего сопротивления лампы. В зависимости от типа применяемой лампы оно может быть несколько десятков или сотен тысяч ом.

Не следует забывать, что постоянная составляющая анодного тока вызывает падение напряжения на этом резисторе и тем самым снижает фактическое напряжение между анодом и катодом. Так, если источник высокого напряжения дает 250 *в*, резистор имеет сопротивление 150 *ком*, а средний анодный ток равен 0,6 *ма* (0,0006 *а*), то падение напряжения составит $0{,}0006 \cdot 150\,000 = 90$ *в*. Следовательно, на участке анод — катод останется всего $250-90 = 160$ *в*.

Дроссельный усилитель

Применение в качестве анодной нагрузки индуктивного сопротивления — дросселя вместо активного — резистора позволяет значительно снизить падение постоянного напряжения, что представляет особый интерес, когда источник анодного тока имеет небольшое напряжение (рис. 57).

Однако по сравнению с резисторным усилителем дроссельный усилитель имеет серьезный недостаток. Он подчеркивает высокие звуковые частоты в ущерб низким. Индуктивное сопротивление пропорционально частоте, и поэтому более высокие частоты создают на нем и более высокие напряжения, в результате чего усиливаются преимущественно высокие частоты. На практике в правильно построенном усилителе можно в значительной степени ослабить указанный недостаток (например, путем включения параллельно дросселю резистора), поэтому не следует считать, что такой метод усиления отличается недопустимыми искажениями, и по этой причине отказываться от его применения.

Другие схемы усилителей

Высокочастотные усилители на индуктивном сопротивлении применяются очень редко, так как они не дают никакого выигрыша по избирательности. В этой области частот его предпочитают заменить таким специфическим сопротивлением, как настроенный колебательный контур. Схема каскада усиления высокой частоты с настроенным контуром изображена на рис. 58; цепь связи имеет малое активное и большое комплексное сопротивления для токов резонансной частоты. Отсутствие сколько-нибудь значительного падения постоянного напряжения, повышенная избирательность, и хорошее усиление — вот основные параметры, говорящие в пользу этой схемы.

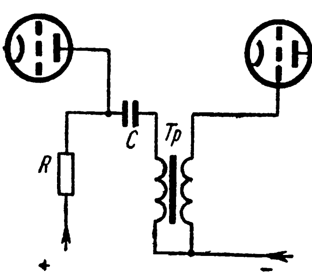


Рис. 144. Смешанная трансформаторно-резистивная связь.

Полезно также отметить, что иногда бывает выгодно применить цепь связи, сочетающую трансформатор и резистор, как это показано на рис. 144. В этой схеме составляющие анодного тока расходятся на выходе анода: постоянная составляющая идет через резистор *R*, а переменная составляющая проходит через конденсатор связи *C* и первичную обмотку трансформатора *Тр*, вследствие чего во вторичной обмотке появляется перемен-

ное напряжение, подаваемое на сетку следующей лампы. Преимущество этого метода заключается в том, что через трансформатор не протекает постоянный ток и его сердечник работает в наилучших условиях. Это, как мы помним, одно из преимуществ двухактной схемы.

Инверсные схемы

Поскольку мы упомянули об этой схеме, воспользуемся случаем и отметим, что и в двухтактной схеме трансформаторная связь легко может быть заменена резистивно-емкостной. Вместо входного трансформатора, роль которого сводится к подаче на сетки ламп двухтактной схемы напряжений противоположных полярностей, можно применить инверсную схему, т. е. каскад, который изменяет полярность напряжения на одной из сеток.

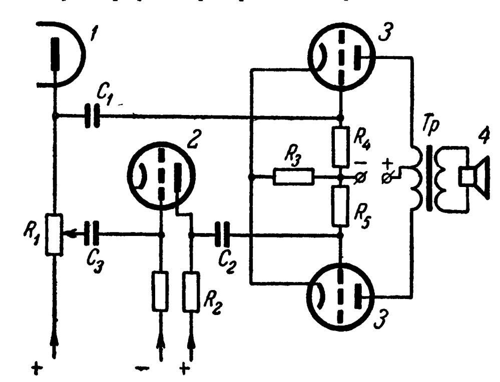


Рис. 145. Схема двухтактного каскада с фазоинвертором.

1 — предварительный усилитель; *2* — фазоинвертор; *3* — лампы мощного двухтактного каскада; *4* — громкоговоритель.

На рис. 145 изображена часто применяемая схема инверсного каскада. Предварительный усилитель возбуждает сетку одной из ламп двухтактного каскада через конденсатор C_1. Одновременно на сетку лампы инвертора подается с резистора R_1 часть этого же напряжения через конденсатор C_3. Напряжение на анодном резисторе R_2 этой лампы имеет полярность, противоположную полярности напряжения на сетке.

Почему так получается? Потому, что, например, при увеличении напряжения на сетке лампы инвертора увеличивается ее анодный ток и, следовательно, падение напряжения на анодном резисторе R_2. Так как это падение напряжения вычитается из напряжения источника питания, напряжение на аноде лампы уменьшается.

Следовательно, анодное напряжение инвертора может быть использовано для возбуждения второй лампы двухтактного каскада (через конденсатор связи C_2), так как его полярность противоположна полярности напряжения на конденсаторе C_1.

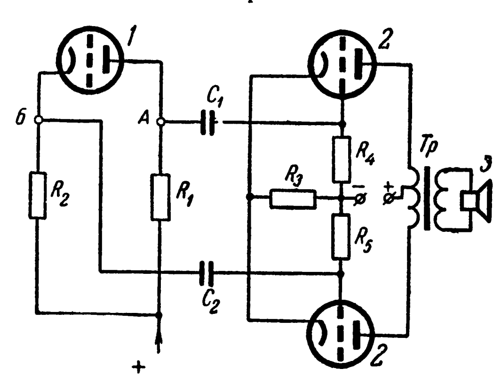


Рис. 146. Схема двухтактного каскада с анодно-катодным повторителем.

1 — анодно-катодный повторитель; *2* — лампы мощного двухтактного каскада; *3* — громкоговоритель.

Легко догадаться, что на сетку лампы инвертора следует подавать только часть напряжения. Ведь напряжения на сетках ламп двухтактного каскада должны быть равны, а коэффициент усиления инвертора больше единицы.

Из схемы видно, что для получения напряжения смещения на сетках ламп двухтактного каскада использовано общее катодное сопротивление — резистор R_3. Конденсатора развязки параллельно этому резистору можно не ставить, так как полярности обоих анодных токов в этой цепи противоположны и поэтому взаимно компенсируются.

Другая часто встречающаяся схема возбуждения двухтактиого каскада с использованием анодно-катодного повторителя приведена на рис. 146. В этой схеме один из резисторов связи (R_1) включен в анодную цепь предварительного каскада (анодно-катодного повторителя), а другой (R_2) — в его катодную цепь. Легко убедиться, что полярности напряжений в точках *А* и *Б* противоположны. При увеличении напряжения на сетке анодный ток возрастет, вследствие чего напряжение в точке *А* падает, а в точке *Б* растет. Остается лишь соединить эти точки с сетками ламп двухтактного каскада через конденсаторы связи C_1 и C_2.

Следует отметить, что анодно-катодный повторитель не дает усиления.

Связь с диодом

До сих пор, рассматривая различные способы связи между лампами, мы всегда предполагали, что предшествующей лампой является триод. Все, что было сказано по этому вопросу, может быть применено и к лампам с бо́льшим количеством электродов. Однако следует особо рассмотреть связь с диодом.

Все сказанное до сих пор о детекторном диоде было основано на том, что детектированный ток подается на телефонные трубки. Однако в большинстве приемников после детектора имеются одна или несколько ламп, служащих для усиления низкой частоты.

Связь между диодом и последующими лампами осуществляется с помощью резистора, включенного в цепь вместо телефонных трубок (см. рис. 39 и 59). Этот резистор служит анодной нагрузкой диода, остальная же часть схемы не имеет никаких особенностей.

Стремление к снижению размеров и стоимости приемника привело изготовителей к созданию комбинированных ламп, в которых в одном баллоне с общим катодом находятся детекторный диод и триод, используемый в качестве первого усилителя низкой частоты (существуют даже лампы, состоящие из двух диодов и пентодов). Схема с комбинированной лампой детектор-усилитель выполняется так же, как если бы использовались две отдельные лампы (см. рис. 59 и 61). Так как усилительная лампа должна иметь отрицательное смещение, резистор R_2 подключается к отрицательному концу резистора смещения R_3. Но на аноде диода не должно быть отрицательного потенциала, и поэтому резистор анодной нагрузки R_1 подключается непосредственно к катоду.

Сеточное детектирование

Необязательно передавать напряжение низкой частоты на сетку через конденсатор связи C_2. Можно объединить сетку лампы и анод диода в один электрод. Таким образом, мы получим триод, включенный по схеме сеточного детектирования, как это показано на рис. 62, и в эквивалентных вариантах схемы на рис. 63 и 64. Этот некогда очень широко распространенный метод комбинированного детектирования и усиления довольно часто используется и в наши дни. Его преимущества — простота и чувствительность. Но он далеко не свободен от искажений, хотя бы потому, что напряжение смещения на сетке не остается постоянным, что необходимо для работы лампы в качестве усилителя.

Отметим, что в этой схеме традиционные элементы цепи детектирования имеют следующие величины: резистор R_1 — около 1 *Мом,* а конденсатор C_1 — порядка 50—150 *пф.*

Количество каскадов низкой частоты

Лампа с предшествующей ей цепью связи составляет каскад приемника. В двухтактной схеме обе лампы с предшествующим им трансформатором считаются одним каскадом.

В современных приемниках усиление низкой частоты редко осуществляется более чем двумя каскадами. Обычно после детектора следует первый каскад,

именуемый **предварительным усилителем** низкой частоты с большим усилением, а за ним находится оконечный **каскад усиления мощности**, потому что роль лампы (или двух ламп в двухтактной схеме), установленной в этом каскаде, заключается в доведении мощности до величины, необходимой для питания громкоговорителя. Иногда используется только один каскад низкой частоты на лампе, обеспечивающей одновременно усиление по напряжению и достаточную мощность

КОММЕНТАРИИ К ТРИНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Обратная связь

В девятой беседе мы уже имели возможность рассмотреть эффект связи между цепями анода и сетки одной и той же лампы. Благодаря такой связи, которую называют **обратной**, анодная цепь воздействует на сеточную цепь, возбуждая в ней при каждом изменении анодного тока соответствующее напряжение. Полярность этого напряжения может совпадать с полярностью напряжения сеточной цепи; для этого достаточно, чтобы анодный ток протекал по виткам катушки обратной связи в соответствующем направлении.

Если связь между обеими цепями велика, то энергия, передаваемая из анодной цепи в сеточную, может оказаться достаточной для компенсации потерь и поддержания колебаний, вследствие чего схема превращается в генератор.

Если же связь мала, то **обратной связи** недостаточно для поддержания незатухающих колебаний. Однако, компенсируя бо́льшую или меньшую часть потерь сеточной цепи, обратная связь позволяет уменьшить затухание. Таким образом, переменное напряжение, поступившее с предыдущей лампы или из антенны, достигает большей величины, чем в условиях отсутствия обратной связи.

Сеточное напряжение влияет на анодный ток, который в свою очередь воздействует на цепь сетки, в результате чего усиление резко возрастает, что иногда важно для получения необходимой чувствительности без многочисленных усилителей высокой частоты

Регенеративный приемник

Классическим примером применения положительной обратной связи является регенеративный приемник, или регенератор (рис. 67), за которым обычно следуют каскады усиления низкой частоты. Эта схема уже многие годы пользуется широкой популярностью. Она позволяет получить хорошие чувствительность и избирательность при более или менее удовлетворительном качестве воспроизведения. *Усиление достигает максимума, когда величина обратной связи соответствует порогу возникновения самовозбуждения,* т. е. точке, после которой лампа начинает генерировать. Все искусство регулировки регенеративного приемника заключается в выборе этой связи, при превышении которой возникает самовозбуждение, препятствующее какому бы то ни было приему. Следует отметить, что при такой погоне за чувствительностью жертвуют музыкальностью, потому что на пороге самовозбуждения избирательность контура слишком велика, что приводит к потере высоких частот (позднее мы выясним причины этого явления). Но чего не сделает начинающий любитель, чтобы принять передачу, например, из Гонолулу!

Индуктированное напряжение зависит от частоты, поэтому для каждой принимаемой станции следует подбирать соответствующую связь. Для этого можно

использовать несколько способов. Прежде всего можно сделать одну из катушек подвижной, чтобы она перемещалась относительно другой. Приближая, удаляя или поворачивая эту катушку, можно по желанию изменять связь.

Можно также, оставив катушки неподвижными, регулировать величину тока высокой частоты, протекающего по катушке обратной связи. Для этого анодный ток разделяют на постоянную и переменную составляющие. Переменная составляющая проходит через катушку обратной связи, соединенную последовательно с конденсатором переменной емкости. Конденсатор задержит не только постоянную составляющую анодного тока, но и составляющую низкой частоты, так как емкость его мала. Эти составляющие замыкаются через вторую ветвь, в которую включаются элемент связи со следующей лампой (трансформатор низкой частоты, активное или индуктивное сопротивление) или телефонные трубки.

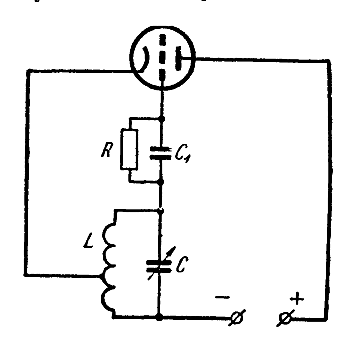


Рис. 147. Генератор с электронной связью. Путь анодного тока показан жирными линиями.

Для лучшего разделения составляющих в цепь с активной нагрузкой полезно включать последовательно заградительный дроссель, который благодаря относительно большой индуктивности задержит высокочастотную составляющую, но пропустит составляющую низкой частоты. Таким образом, это устройство аналогично схеме разделения составляющих, изображенной на рис. 138.

Конденсатор переменной емкости, соединенный последовательно с катушкой обратной связи, позволяет по усмотрению дозировать протекающий по ней ток высокой частоты и регулировать таким образом обратную связь. Это довольно практичный способ, позволяющий осуществить очень точную регулировку. Существует несколько вариантов, которые, однако, все основаны на одном и том же принципе и различаются лишь деталями схемы.

Рассмотренный вид обратной связи не следует называть «емкостной обратной связью». Он является *обратной связью, основанной на взаимной индукции двух катушек; функции конденсатора сводятся лишь к роли крана,* регулирующего степень пропускания высокой частоты.

Можно создать также настоящую *емкостную обратную связь,* для чего между анодом и сеткой включают конденсатор переменной емкости. Однако получаемые результаты обычно не слишком удовлетворительны.

Смешанный индуктивно-емкостный метод обратной связи осуществлен в схеме Хартли (рис. 69), где сетка и анод связаны емкостью настроенного конденсатора и индуктивностью половины катушки контура. Регулировка обратной связи также производится конденсатором переменной емкости C_2.

Со схемой Хартли можно сопоставить генератор с электронной связью (рис. 147). Этот генератор, часто используемый в гетеродинах, не позволяет регулировать величину связи, так как по обведенной жирной линией части катушки полностью проходит высокочастотная составляющая. Обратную связь, конечно, можно было бы сделать регулируемой, если бы вывод на катушке допускал изменение количества витков, по которым протекает ток обратной связи.

Паразитные связи

Если регулируемая обратная связь часто является весьма ценным средством для получения оптимальных результатов от приемника с малым числом ламп, то самопроизвольная обратная связь, появляющаяся из-за паразитных связей, представляет собой одно из наиболее неприятных явлений в практике радиотехники. Паразитные связи можно подразделить на три вида: индуктивные, емкостные и через общее сопротивление. Последний вид связи послужит нашим друзьям темой для следующей беседы. Индуктивные же и емкостные связи

имеются повсюду, где элементы анодной цепи лампы находятся по соседству с элементами сетки этой же или одной из предшествующих ламп.

Два проводника, хотя бы на малом участке находящиеся рядом, образуют конденсатор. Две катушки, если только не принято специальных мер, связаны индуктивно. Даже электроды лампы, несмотря на их малые размеры, образуют емкости между собой или с расположенными рядом элементами схемы.

Если возникшие таким образом паразитные связи имеют положительный знак, т. е наведенные из анодных цепей в сеточные напряжения совпадают по полярности с напряжением на сетке, то при определенной величине связей возникают колебания и приемник превращается в генератор. Практически же паразитные связи проявляются в виде свиста, шума или по крайней мере в виде резких искажений воспроизводимого звука, лишающих возможности пользоваться приемником.

Экранирование

Для устранения этих неприятностей существует несколько средств. В первую очередь следует назвать продуманное размещение элементов схемы, при котором избегают слишком длинных проводов и опасной близости элементов. Вторым средством является экранирование катушек, ламп, а иногда и целых узлов схемы (блоков).

Катушки и лампы закрываются металлическими кожухами из листовой меди или алюминия. Эти «клетки Фарадея» перехватывают все электрические поля и тем самым устраняют паразитные связи. Металлические лампы оказываются экранированными благодаря металлической оболочке. Иногда некоторые проводники приходится экранировать гибкой металлической оплеткой. Трансформаторы низкой частоты экранируются кожухами из толстой мягкой стали.

Все экраны, так же как и металлическое шасси, должны соединяться с какой-либо точкой, имеющей постоянный потенциал, например с отрицательным полюсом высокого напряжения.

Тетрод

По этому пути идут вплоть до установления экрана внутри ламп между сеткой и анодом. Чтобы электроны тем не менее могли свободно проходить через этот экран, ему придается форма сетки и он называется экранирующей сеткой. Такое устройство имеют лампы с четырьмя электродами или тетроды Чтобы экранирующая сетка не тормозила движения электронов, на нее подается высокий положительный потенциал (в высокочастотных лампах равный половине анодного напряжения, а в низкочастотных равный анодному напряжению). Таким образом, она служит для ускорения электронов.

Благодаря наличию экранирующей сетки паразитная емкость между анодом и управляющей сеткой практически становится равной нулю, чем устраняется одна из наиболее опасных причин самовозбуждения. К этому преимуществу ламп с экранирующей сеткой нужно еще добавить их высокий коэффициент усиления, который может достигать 1 000.

Действительно, в тетродах анодный ток почти исключительно зависит от напряжения основной сетки, называемой управляющей сеткой, и напряжения экранирующей сетки; анодное же напряжение очень слабо воздействует на анодный ток вследствие наличия экранирующей сетки. В этих условиях коэффициент усиления в соответствии с определением должен быть очень высоким

Крутизна тетродов имеет такой же порядок величины, как и крутизна триодов, и чтобы основное равенство $\mu = R_i S$ было справедливо при большом значении μ, необходимо, чтобы и R_i также имело большую величину. Внутреннее сопротивление тетродов достигает часто величины порядка 1 *Мом*.

Для создания напряжения на экранирующей сетке применяют схему делителя напряжения, включая два последовательно соединенных резистора (R_2 и R_3

на рис. 72) между полюсами источника высокого напряжения. В зависимости от сопротивлений этих резисторов через них протекает больший или меньший ток, создающий на каждом из них падение напряжения, пропорциональное сопротивлениям резисторов (сумма этих двух падений напряжения, разумеется, равна напряжению источника). Таким образом, общая для обоих резисторов точка имеет промежуточное напряжение, которому путем соответствующего подбора сопротивлений резисторов можно придать любое значение. К этой общей точке и подключается экранирующая сетка.

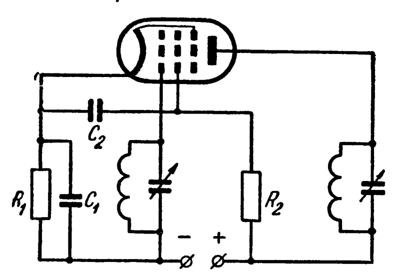


Рис. 148. Потенциал экранирующей сетки определяется падением напряжения на сопротивлении R_2. Переменная составляющая замыкается на катод через конденсатор C_2.

В связи с тем, что сетка захватывает некоторое количество проходящих через нее электронов, существует небольшой ток экранирующей сетки. Чтобы его изменения не нарушали постоянства напряжения на экранирующей сетке, между нею и катодом включается конденсатор, который отводит переменную составляющую тока прямо на катод.

В лампах, у которых ток экранирующей сетки имеет постоянную величину, можно создать требуемое напряжение с помощью гасящего соопротивления (резистор R_2 на рис. 148), соединяющего экранирующую сетку с положительным полюсом высокого напряжения. Но и в этом случае необходим конденсатор, предназначенный для отведения на катод переменной составляющей тока.

Вторичная эмиссия

Когда в конце быстрого пролета электроны достигают анода, в результате удара из атомов анода выбиваются электроны, выбрасываемые в пространство. Поток электронов, излучаемых анодом под воздействием электронной бомбардировки, носит название **вторичной эмиссии**. Скорость вторичных электронов относительно невелика и после короткого полета они обычно возвращаются на анод вследствие притяжения положительным потенциалом. По крайней мере так происходит в триоде.

В тетроде вторичная эмиссия может серьезно нарушить работу лампы. Когда потенциал анода падает ниже потенциала экранирующей сетки, электроны не возвращаются на анод, а притягиваются экранирующей сеткой. При этом возникает ток от анода к экранирующей сетке. Этот ток имеет направление, противоположное нормальному направлению анодного тока, и поэтому вычитается из него. Миллиамперметр, включенный в анодную цепь, покажет ток, равный разности нормального анодного и вторичного токов.

В каких условиях подобное явление может иметь место? Иными словами, каким образом анодное напряжение может оказаться меньшим напряжения на экранирующей сетке? Напомним, что напряжение на экранирующей сетке имеет постоянную величину. Напряжение же на аноде все время изменяется, потому что из напряжения источника анодного тока вычитается падение напряжения на сопротивлении нагрузки, находящемся в анодной цепи. Если переменное напряжение на сетке превысит некоторое значение, то амплитуда переменной составляющей анодного тока может стать такой, что мгновенное значение напряжения на аноде окажется ниже напряжения на экранирующей сетке. Именно в этот момент вторичная эмиссия с анода устремляется на экранирующую сетку.

Пентод

Способ устранения этого недостатка прост: между экранирующей сеткой и анодом помещают сетку, имеющую потенциал катода. Эта **защитная сетка** не оказывает никакого влияния на первичные электроны, быстро летящие от

катода к аноду. Но значительно более медленные вторичные электроны тормозятся ею и «благоразумно» возвращаются на анод.

Полученная таким образом трехсеточная лампа, с пятью электродами, или пентод, свободна от недостатков, вызываемых вторичной эмиссией. Кроме этой особенности, пентод имеет те же свойства и достоинства, что и тетрод. В настоящее время пентод является наиболее широко используемой лампой в усилителях как высокой, так и низкой частоты. В обоих случаях он позволяет получить большое усиление. Кроме того, емкость сетка — анод пентода крайне незначительна, что является особенно важным преимуществом при работе в каскадах высокой частоты, так как это уменьшает опасность самовозбуждения.

КОММЕНТАРИИ К ЧЕТЫРНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Связь через общие сопротивления

Экранирование позволяет устранить или уменьшить паразитные связи, вызываемые магнитной индукцией или емкостью. Тем не менее остаются другие связи, которые могут возникать из-за сопротивлений, являющихся общими для нескольких цепей.

Когда через одно и то же сопротивление (хотя бы источник высокого напряжения) протекают переменные токи нескольких ламп, каждый ток создает на нем переменное падение напряжения, которое будет влиять на напряжения всех электродов ламп. В зависимости от знака таких связей они также могут вызвать либо самовозбуждение, либо значительное уменьшение усиления.

Опасным является падение напряжения на общем сопротивлении, обусловленное переменной составляющей токов ламп; постоянные же составляющие из-за их неизменности не могут вызвать появления нежелательного взаимодействия. Поэтому для устранения связей этого рода объявляют борьбу переменным составляющим анодных токов, применяя соответствующие цепи развязки, т. е короткие индивидуальные пути низкого сопротивления.

Цепи развязки

Так как основная функция переменной составляющей анодного тока заключается в создании переменного напряжения в цепи связи, на выходе из этой цепи ее функции заканчиваются. Наиболее просто заставить ее вернуться в исходную точку, т. е. на катод, создав ей путь с помощью конденсатора достаточной емкости. Чтобы помешать ей пойти тем же путем, что и постоянная составляющая, на этом пути устанавливается активное или индуктивное сопротивление, препятствующее ее прохождению.

Таким образом, мы вновь сталкиваемся с обычным способом разделения двух составляющих анодного тока (см. рис. 142): конденсатор пропускает переменную составляющую и задерживает постоянный ток, а сопротивление или соответствующим образом подобранная индуктивность, пропуская постоянный ток, является препятствием для переменной составляющей.

Для развязки в ветвях постоянного тока применяют активные сопротивления, причем одновременно используют падение напряжения на сопротивлении развязки для установления на каждой лампе оптимального значения анодного напряжения.

Емкость конденсатора развязки должна быть тем большей, чем ниже частота подлежащих развязке токов и чем меньше сопротивление развязки. По

высокой частоте используют конденсаторы порядка 0,1 *мкф;* этого вполне достаточно, потому что на частоте 1 000 *кгц* (соответствующей длине волны 300 *м*) емкостное сопротивление составляет лишь 1,5 *ом.* По низкой частоте используют конденсаторы развязки порядка 20 *мкф;* эта большая емкость совершенно не является излишней роскошью, так как ее сопротивление на частоте 50 *гц* составляет 150 *ом.*

Выполнение цепей развязки

При выполнении монтажа элементы развязки должны размещаться как можно ближе к лампе и цепи связи, с тем чтобы переменные составляющие возвращались на катод наикратчайшим путем.

На практике конденсаторы развязки соединяют иногда не с катодом, а с отрицательным полюсом высокого напряжения, что заставляет переменную составляющую пройти и через конденсатор, включенный параллельно резистору в катоде. Это не рекомендуется, так как эквивалентная емкость двух последовательно соединенных конденсаторов, через которые должен пройти ток на пути к катоду, меньше емкости самого маленького из этих двух конденсаторов. Но так все же поступают по той причине, что очень удобно присоединять все ведущие к отрицательному полюсу высокого напряжения провода к толстому проводу заземления или металлической массе шасси; предпочтение, впрочем, следует отдать первому решению. Напомним, что экраны катушек, ламп и проводников тоже должны быть соединены с шасси (корпусом).

Однако теперь, когда мы показали, какую пользу приносят развязки, отметим, что многие приемники работают лучше... без цепей развязки. Это объясняется тем, что паразитные связи могут создать обратную связь с благоприятной усилению полярности, не доводя схему до порога генерирования. Именно по этой причине встречаются случаи, когда недорогой приемник, в котором по соображениям экономии пренебрегли цепями развязки, отличается очень хорошей чувствительностью. Однако этот почти парадоксальный факт не должен заставить нас усомниться в пользе цепей развязки, потому что лучше стать хозяином обратной связи и сознательно применять ее там, где она полезна, чем предоставить случаю определить характер действия обратной связи.

КОММЕНТАРИИ К ПЯТНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Проблема питания

Для питания приемника требуются два источника тока: источник высокого напряжения, дающий анодный ток, и источник низкого напряжения, дающий ток накала. Первый должен иметь постоянное напряжение 100—250 *в.* Накал, за исключением специальных ламп для батарейных приемников, может осуществляться как постоянным, так и переменным током.

Для смещения, как мы уже видели, не требуется самостоятельного источника питания, так как необходимое для этого напряжение получают из анодной цепи за счет падения напряжения на сопротивлении, включенном в цепь катода.

Оставим в стороне батарейные приемники, где батареи или аккумуляторы дают все необходимые напряжения и где используются лампы прямого накала, потребляющие очень малый ток при напряжении порядка 2 или 1,5 *в.*

Питание от сети переменного тока

Наиболее распространены приемники с питанием от сети переменного тока. Провод с вилкой служит для подведения напряжения от штепсельной розетки через выключатель, служащий для включения приемника, к трансформатору электропитания. Из вполне разумной предосторожности в этой цепи следует установить плавкий предохранитель, который при случайном коротком замыкании перегорает и отключает электросеть.

Первичная обмотка трансформатора может иметь отводы, рассчитанные на различные напряжения сети (127 или 220 *в*). Обычно трансформатор электропитания имеет три вторичные обмотки: для накала ламп, накала кенотрона и для высокого напряжения. Все три обмотки очень часто снабжаются выводами от средней точки.

В большинстве случаев применяются двуханодные кенотроны; при желании выпрямлять только один полупериод всегда можно соединить оба анода, превратив их в общий анод. Накал кенотронов раньше был 4 *в* (европейские лампы) или 2,5 *в* (американские лампы). В настоящее время напряжение накала большинства кенотронов 6,3 *в*. Все более широкое применение находят кенотроны с подогревным катодом, что позволяет снимать высокое напряжение непосредственно с катода (а не со средней точки обмотки накала кенотрона).

Выводы концов вторичной обмотки высокого напряжения, дающей анодный ток, соединены с анодами кенотрона, а средняя точка этой обмотки представляет собой отрицательный полюс высокого напряжения. Не следует упускать из виду, что напряжение, попеременно подаваемое на аноды кенотрона, снимается только с половины, а не со всей обмотки. Так, при общем напряжении вторичной обмотки 600 *в* в каждый данный момент выпрямляется напряжение 300 *в*; поэтому не следует пытаться искать выпрямленное напряжение 600 *в*.

Изготовители трансформаторов электропитания имеют хорошую привычку указывать не только напряжения на вторичных обмотках, но и величины токов. Не следует ошибаться в истолковании последних значений: это не величина тока, которую обмотки будут давать во всех случаях, а только значения, которые не нужно превышать, чтобы не вызвать ненормального нагрева трансформатора. Чем толще проволока, из которой сделана обмотка, и, следовательно, чем меньше ее сопротивление, тем больший ток может быть получен без значительного нагрева. Чтобы узнать ток каждой обмотки, достаточно подсчитать общее сопротивление подключенной к ней цепи и применить закон Ома.

Фильтр

Полученный после выпрямления ток имеет одно направление, но он еще не постоянный в полном смысле этого слова. Перед использованием его следует предварительно сгладить фильтром. Ток до выпрямления можно рассматривать как состоящий из суммы двух токов — постоянного и переменного. В этом случае проблема сглаживания фильтром сводится к тому, чтобы пропустить постоянную составляющую и полностью задержать переменную составляющую.

В цепях развязки нам уже приходилось сталкиваться с решением аналогичной проблемы Оно заключается в создании для переменной составляющей удобного пути через конденсатор и преграждении пути в другом направлении с помощью индуктивного сопротивления, пропускающего постоянную составляющую. В качестве такого сопротивления берут дроссель с относительно небольшим активным сопротивлением, который устанавливают на пути тока (в наиболее простых приемниках используют активное сопротивление — резистор). Конденсатор, служащий для отвода переменной составляющей, включается параллельно выходу выпрямителя. И, наконец, изготовление фильтра завершается установкой на выходе фильтрующей ячейки второго конденсатора, предназначенного для подавления остатков переменной составляющей, которые могли пройти через дроссель (рис. 89).

В случае необходимости особо тщательно сгладить ток можно включить последовательно две фильтрующие ячейки; два находящихся в середине конденсатора могут быть заменены одним общим для обеих ячеек (емкость этого кон-

денсатора должна быть вдвое больше емкости каждого из внешних конденсаторов).

Так как частота изменений очень мала (при сети 50 *гц* частота составляет 100 *гц*, потому что при выпрямлении вместо каждого периода мы получаем два изменения тока по числу полупериодов), индуктивности и емкости должны иметь относительно большие величины. Индуктивности в несколько десятков генри выполняются в виде обмоток на стальных сердечниках. Емкость конденсаторов составляет несколько микрофарад, и от применения конденсаторов с твердым диэлектриком, как, например, парафинированная бумага, пришлось отказаться из-за их недопустимо больших размеров. В этом случае используются конденсаторы специального типа, получившие название электролитических конденсаторов.

Электролитические конденсаторы

Конденсаторы этого типа содержат жидкость или тестообразную массу, носящую название электролита. В электролит погружена обкладка из алюминия, имеющая относительно большую площадь.

При приложении напряжения между электролитом и алюминием (последний подключается к положительному полюсу) сразу же начинается разложение электролита, в результате чего алюминий покрывается пленкой (являющейся диэлектриком) и ток прекращается. Толщина этой пленки ничтожна (порядка тысячной доли миллиметра), и понятно, как велика емкость такого конденсатора, обкладками которого являются алюминий и электролит.

Отметим, что в отличие от конденсаторов, которые мы до сих пор разбирали, электролитический конденсатор имеет определенную полярность: алюминиевую обкладку обязательно нужно подключать к положительному полюсу. При изменении полярности рискуют испортить конденсатор. Следовательно, не следует включать такой конденсатор на переменное напряжение (если только на него не наложено постоянное напряжение большей величины и соответствующей полярности).

Каждый тип конденсатора рассчитан на определенное рабочее напряжение, указываемое заводом-изготовителем, которое не следует превышать. Емкость конденсатора в известной мере зависит от напряжения на обкладках и при повышении напряжения несколько уменьшается.

Пробой электролитического конденсатора под воздействием мгновенного перенапряжения (когда между его обкладками проскакивает искра) — не очень большая беда, потому что слой окиси алюминия может сразу же восстановиться. Этого нельзя сказать о бумажном конденсаторе; от искры бумага обугливается и тем самым теряет свойства изолятора, в результате чего между обкладками образуется более или менее явное короткое замыкание.

Электролитические конденсаторы обычно выпускаются в металлических корпусах, которые образуют контакт с электролитом и служат для подключения отрицательного полюса. Наиболее распространены электролитические конденсаторы емкостью в десятки микрофарад. Их используют не только в фильтрах, но и для развязки в цепях низкой частоты и особенно для развязки сопротивлений смещения. В связи с этим отметим, что современные оконечные лампы (в последнем каскаде низкой частоты) обычно бывают с подогревным катодом и поэтому напряжение смещения также снимается с сопротивления в цепи катода.

Нагревание нитей накала

Если раньше в Европе было повсеместно принято единое напряжение накала 4 *в* (а в Америке 2,5 *в*), то теперь оба континента пришли к соглашению, приняв в качестве единого стандарта для накала переменным током напряжение 6,3 *в*. Это не исключает существования большого количества типов ламп с разными напряжениями накала вплоть до 110 *в* (что устраняет необходимость в понижающем трансформаторе накала).

В приемниках, работающих от сети переменного тока, нити накала подключаются непосредственно к накальной обмотке трансформатора (рис. 90).

Иное дело при работе приемника от сети постоянного тока. В связи с тем, что в этом случае нельзя применять трансформатор, снижающий напряжение сети до любой заданной величины, нити накала ламп соединяют последовательно (разумеется, необходимо, чтобы все лампы могли исправно работать при одном и том же токе накала). При этом используют лампы не только с напряжением накала 6,3 *в*, но также и с более высоким напряжением, особенно в оконечном каскаде. Если суммарное напряжение окажется меньше напряжения сети, то избыток нужно погасить с помощью резистора.

Так, например, приемник, имеющий пять ламп, из которых четыре с напряжением накала 6,3 *в* и одна 25 *в*, требует для последовательно соединенных нитей накала $6{,}3 \cdot 4 + 25 = 50{,}2$ *в*. При напряжении сети 110 *в* нужно погасить с помощью резистора около 60 *в*. При токе накала 0,3 *а* по закону Ома потребуется резистор сопротивлением $60 : 0{,}3 = 200$ *ом*.

Разумеется, при этом более половины энергии рассеивается в виде тепла на резисторе и система оказывается мало экономичной. Однако это единственный способ, оправдываемый недостаточной гибкостью постоянного тока. Гасящее сопротивление иногда размещается в шнуре для включения приемника в сеть.

Питание приемника от сети постоянного тока

Для анодного питания приемников, работающих от сети постоянного тока, не возникает (и не без основания) необходимости в выпрямлении тока, однако сглаживание фильтром и здесь не менее необходимо, так как постоянный ток сети имеет небольшие пульсации, легко снимаемые хорошим фильтром.

Так как повысить напряжение сети постоянного тока с помощью трансформатора невозможно, следует максимально уменьшить падение напряжения в индуктивиости фильтра, чтобы напряжение, подаваемое на аноды ламп, не оказалось слишком низким. Поэтому в случае фильтрации пульсаций сети постоянного тока катушки фильтра изготавливают из относительно толстой проволоки (чтобы снизить активное сопротивление), уменьшают количество витков и компенсируют уменьшение индуктивности с помощью конденсаторов большой емкости. К счастью, для рабочих напряжений порядка 110 *в* имеются электролитические конденсаторы емкостью более 100 *мкф*.

Приемники с универсальным питанием

Мы сочли целесообразным довольно подробно рассмотреть устройство приемников с питанием от сети постоянного тока не по причине их широкого распространения. Такие приемники выпускаются очень редко, но имеется большое количество приемников с универсальным питанием, которые могут включаться в сеть как переменного, так и постоянного тока. Устройство таких приемников мало чем отличается от устройства приемников с питанием от сети постоянного тока.

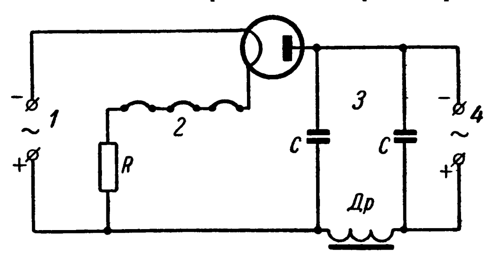


Рис. 149. Схема питания приемника с универсальным питанием.

1 — электросеть; *2* — нити накала ламп; *3* — фильтр; *4* — выпрямленное анодное напряжение.

В приемниках с универсальным питанием нити накала также соединяются последовательно, причем в цепь включается гасящее сопротивление.

В цепи высокого напряжения (рис. 149) перед фильтрацией ток сети проходит через одноанодный кенотрон (или двуханодный с соединенными анодами).

При включении приемника в сеть переменного тока выпрямляется один полупериод, все же остальное происходит, как в нормальной схеме питания при

работе от сети переменного тока. При постоянном токе в сети могут иметь место два случая. Если включить шнур приемника в штепсельную розетку так, что катод кенотрона окажется соединенным с положительным полюсом, то ток не сможет пройти и приемник будет молчать. При правильном же включении ток свободно пройдет через кенотрон и, хотя он не требует выпрямления, тем не менее разделит участь переменного тока.

Отметим также, что приемники на постоянном токе и приемники с универсальным питанием включаются непосредственно в сеть, так как обычное промежуточное звено — трансформатор — в них отсутствует. Однако сеть может иметь достаточно высокий потенциал по отношению к земле. Поэтому такие приемники можно заземлять только через маленькую емкость, которая, свободно пропустив высокочастотные колебания из антенны, окажется препятствием для опасного замыкания сети на землю.

КОММЕНТАРИИ К ШЕСТНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Прямое усиление

Рассмотренные до сих пор радиоприемники принадлежали к категории приемников с прямым усилением. Перед детектированием ток высокой частоты, поступивший из антенны, усиливался в одном или нескольких каскадах.

Однако такое усиление не может быть очень большим, так как, несмотря на любые предосторожности по экранировке и развязке, трудно избежать паразитных обратных связей, если количество высокочастотных каскадов превышает один или два. Трудности увеличиваются с повышением частоты, причем это относится не только к обратным связям, но и к возможности получения достаточного усиления. Поэтому на коротких волнах (очень высоких частотах) усиление высокой частоты оказывается мало эффективным.

Кроме того, увеличение высокочастотных каскадов неизбежно влечет за собой увеличение количества одновременно настраиваемых колебательных контуров, что также порождает разнообразные трудности.

Вывод напрашивается сам собой. Приемник прямого усиления может применяться лишь тогда, когда не требуется высокая чувствительность. Он особенно рекомендуется для местного приема и обычно не предназначен для приема удаленных станций, что осуществляется с помощью супергетеродина.

Принцип супергетеродина

В супергетеродинном приемнике начинают с того, что предварительно преобразуют высокую частоту в более низкую, после чего можно осуществить большое усиление. Какова бы ни была частота сигнала в антенне, ее преобразуют в одну и ту же для данного приемника частоту, называемую промежуточной частотой. В этом случае основные каскады усиления в приемнике — каскады промежуточной частоты — рассчитаны только на одну частоту; следовательно, при переходе с одной станции на другую нет необходимости в изменении их настройки. Так как работа ведется на более низкой частоте (которая тем не менее еще относится к области высоких частот), чем максимальная возможная частота принимаемого сигнала, усиление очень эффективно и паразитные связи легко устранимы.

Определив таким образом принцип и основные преимущества супергетеродина, рассмотрим, какие средства используются для его осуществления.

Преобразователи частоты на двух лампах

Преобразование частоты основано на явлении биений, физическая сущность которых наблюдается на множестве примеров при изучении световых явлений (интерференция), акустических и механических (спаренные маятники).

Когда два периодических колебания накладывают одно на другое, результирующее колебание содержит частотную составляющую, равную разности частот обоих колебаний. Так, накладывая один на другой два тока с частотами f_1 и f_2, мы получаем результирующий ток, амплитуда колебаний которого изменяется с частотой $f_1 - f_2$ (см. рис. 91), называемой частотой биений и выявляемой после детектирования.

Произведенное таким образом преобразование частоты никак не влияет на форму низкочастотной модуляции, которая может присутствовать в одном из составляющих токов. Если на модулированный высокочастотный ток антенны мы наложим ток другой частоты от местного генератора, то после детектирования можно будет получить частоту, равную разности частот тока антенны и тока местного генератора; при этом результирующий ток несет в себе ту же низкочастотную модуляцию, что и наведенный в антенне ток.

Местный генератор, называемый гетеродином, включен в схему самого приемника. Его колебания могут накладываться на колебания, поступающие из антенны, с помощью небольшой связи между колебательным контуром антенны и колебательным контуром гетеродина. Так по крайней мере делали в первых приемниках с преобразованием частоты (см. рис. 93). Но такой способ имеет серьезный недостаток: в результате наличия связи гетеродин может захватываться колебаниями антенного контура, т. е. начать генерировать не на своей собственной, а на принимаемой частоте. При этом обе составляющие частоты будут равны и результирующая частота (равная их разности) окажется, следовательно, равной нулю, что совершенно не соответствует требуемому. В этом случае говорят, что произошло затягивание колебаний.

Во избежание этого нужно устранить связь между входным колебательным контуром и контуром гетеродина с помощью экранов и цепей развязки. Колебания же накладывают одно на другое в лампе с двумя управляющими сетками, на каждую из которых подается одно из двух колебаний. Анодный ток такой лампы, называемой смесительной, управляется одновременно высокочастотным напряжением из антенны и напряжением местного гетеродина. Следовательно, происходит наложение колебаний и, так как лампа детектирует, в ее анодном токе образуется нужная результирующая составляющая промежуточной частоты (см. рис. 94).

Комбинированные лампы гетеродин-смеситель

Одна и та же лампа может выполнять функции гетеродина и смесителя. Для этого достаточно установить в лампе, кроме сетки, на которую подавались колебания гетеродина, небольшой вспомогательный анод, ток которого через катушку обратной связи используется для возбуждения колебаний. Получённая таким образом лампа могла бы быть заменена двойным триодом, первый триод которого служил бы в качестве гетеродина, а второй — смесителя.

Однако междуэлектродных емкостей такой лампы было бы достаточно для создания паразитной связи между контурами, способной вызвать затягивание. Поэтому вторую сетку (сетку смесительной части) окружают двумя экранирующими сетками, на которые подается довольно высокое напряжение, в результате чего получается семиэлектродная лампа, или гептод. Чтобы предотвратить вторичную эмиссию с основного анода, между ним и второй экранирующей сеткой помещают защитную сетку, в результате чего количество электродов увеличивается до восьми. Такая лампа называется октодом.

Для выполнения обеих функций — гетеродина и смесителя, необходимых для преобразования частоты, можно использовать также другие методы и другие

типы ламп. Так, лампа может содержать две самостоятельные системы электродов с общим катодом, первая из которых используется для создания местных колебаний, а вторая служит преобразователем. Такой лампой является, например, т р и о д - г е к с о д (рис. 150), где триод служит гетеродином, а гексод (лампа с шестью электродами) — смесителем. Следует отметить, что местные колебания подаются на третью сетку гексода по очень короткому проводнику, находящемуся внутри самой лампы.

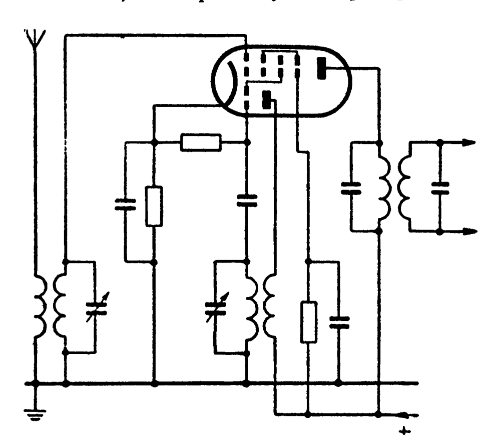


Рис. 150. Преобразование частоты с помощью триод-гексода.

Усиление промежуточной частоты

Гетеродин всегда настраивается так, чтобы разность между его частотой и частотой принимаемых колебаний была равна заданной промежуточной частоте. В настоящее время эта величина стандартизована и принята равной 465 *кгц*. Хотя эта частота несколько выше частоты длинноволновых передатчиков, она ниже частот средних и особенно коротких волн, а, как мы помним, именно эти два диапазона особенно нуждаются в понижении частоты.

Усилитель промежуточной частоты, как правило, состоит из одного или — реже — двух каскадов, в которых используются пентоды. В качестве междукаскадной связи чаще всего служат трансформаторы, первичная и вторичная обмотки которых настроены на промежуточную частоту. При одном каскаде усиления промежуточной частоты имеются четыре настроенных контура: два, составляющие трансформатор связи с преобразователем частоты, и два, представляющие собой трансформатор связи усилителя с детектором (так как после усиления промежуточной частоты ток детектируется и усиливается по низкой частоте).

Легко понять, как наличие этих четырех настроенных контуров содействует повышению избирательности и как было бы трудно настраивать их в случае установки в усилителе высокой частоты. В то же время в рассматриваемом случае они настраиваются только один раз на промежуточную частоту и при достаточной стабильности не требуют впоследствии никакой дополнительной регулировки.

Современные трансформаторы промежуточной частоты состоят обычно из двух обмоток с сердечником из магнитодиэлектрика; настройка может осуществляться с помощью маленьких подстроечных конденсаторов. В одной из удобных конструкций конденсатор представляет собой слюдяную пластинку, посеребренную с обеих сторон (слюда играет роль диэлектрика, а серебро — роль обкладок). Соскабливая слой серебра, можно уменьшить емкость до нужной величины. Другие подстроечные конденсаторы представляют собой упругие металлические пластинки, которые больше или меньше изгибаются винтом. Существуют также конструкции, воспроизводящие в миниатюре конденсаторы переменной емкости. В последнее время очень распространены керамические подстроечные конденсаторы.

Однако настройка трансформаторов промежуточной частоты чаще осуществляется изменением не емкости, а индуктивности катушек при постоянных контурных конденсаторах. Магнитные сердечники таких трансформаторов могут перемещаться внутри катушек, изменяя тем самым индуктивность.

Какова бы ни была конструкция трансформаторов промежуточной частоты, они вместе с конденсаторами контура экранируются во избежание паразитных индуктивных связей.

Наличие четырех настроенных контуров промежуточной частоты (не считая тех, которые могут находиться в высокочастотной части, т. е. до преобразователя частоты) содействует, как мы уже говорили, повышению избирательности. Однако повышению избирательности способствует и сам факт снижения частоты. Разъяснение этого, простого самого по себе явления, выходит за рамки наших комментариев. Достаточно упомянуть о самом факте, объясняющем очень высокую избирательность, которой отличаются супергетеродины.

Сопряженная настройка

Одна из наиболее острых проблем, которые ставит перед нами супергетеродин, заключается в устройстве **сопряженной настройки** его высокочастотных контуров с помощью одной ручки управления. В приемнике прямого усиления сопряженная настройка осуществляется относительно просто: достаточно, чтобы все контуры, состоящие из идентичных катушек индуктивности, настраивались таким же количеством идентичных конденсаторов переменной емкости, имеющих общую ось вращения и управляемых одной ручкой. Небольшие отклонения (вызываемые, например, паразитными емкостями между проводниками) устраняются с помощью подстроечных конденсаторов малой емкости, включаемых параллельно колебательным контурам.

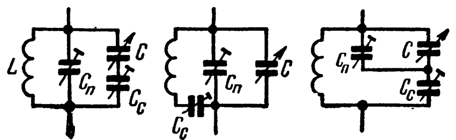


Рис. 151. Три способа включения подстроечных и сопрягающих конденсаторов в колебательный контур гетеродина для сопряженной настройки.

Но в случае супергетеродина проблема сопряженной настройки становится более сложной. Здесь необходимо настраивать высокочастотный контур и контур гетеродина на две разные частоты, *сохраняя между ними на всем диапазоне постоянную разность*, равную величине промежуточной частоты. Так, например, в приемнике, промежуточная частота которого 465 *кгц*, частота гетеродина должна быть на 465 *кгц* выше (или ниже) частоты настраиваемого контура высокой частоты и это должно иметь место на всех диапазонах и при всех положениях конденсатора переменной емкости. Так как конденсаторы переменной емкости, включаемые в оба контура, имеют одинаковую емкость, для создания разности по частоте, естественно, приходится прибегать к применению катушек с различной индуктивностью в контурах высокой частоты гетеродина.

К несчастью, эта разность не сохраняется постоянной при всех положениях конденсатора переменной емкости. Чтобы тем не менее сохранить ее постоянной, прибегают к уловке, позволяющей изменить характер изменения настройки колебательного контура в зависимости от положения конденсатора переменной емкости. Для этого параллельно конденсатору переменной емкости C включают конденсатор малой емкости $C_п$, называемый **подстроечным**, а последовательно с конденсатором настройки —другой конденсатор с большей емкостью $C_с$, называемый **сопрягающим**. Включение этих конденсаторов может осуществляться одним из трех способов, показанных на рис. 151.

Вспомнив правила параллельного и последовательного соединений конденсаторов, мы поймем, что *конденсатор $C_п$ увеличивает емкость конденсатора C, тогда как включенный последовательно сопрягающий конденсатор $C_с$ уменьшает его емкость.*

Но каждый из этих конденсаторов действует на настройку больше или меньше в зависимости от положения подвижных пластин конденсатора переменной емкости C. Действительно, когда конденсатор C имеет минимальную емкость, емкость подстроечного конденсатора, несмотря на малую величину, оказы-

вается по сравнению с нею значительной. При этом роль сопрягающего конденсатора практически сведена на нет, так как, будучи последовательно соединенным с малой емкостью конденсатора *C*, он может лишь еще уменьшить ее. Поэтому в начальном положении ротора конденсатора переменной емкости (т. е. для наиболее высоких частот или наиболее коротких волн данного диапазона) основную роль в коррекции частоты настройки играет подстроечный конденсатор.

Совершенно иное происходит в конечном положении ротора конденсатора переменной емкости, когда его емкость достигает максимума. В этом случае небольшой емкостью подстроечного конденсатора можно просто пренебречь. А сопрягающий конденсатор оказывает заметное воздействие, снижая емкость конденсатора *C*.

Таким образом, подбирая емкость *подстроечного конденсатора в начале и сопрягающего в конце хода ротора,* удается придать нужный характер изменению емкости при вращении подвижных пластин конденсатора настройки. Благодаря этому конденсатор переменной емкости гетеродина может управляться той же ручкой, что и конденсатор настройки входного контура.

Само собой разумеется, что для каждого диапазона требуются отдельные подстроечный и сопрягающий конденсаторы. Все эти конденсаторы подстраиваются один раз навсегда в процессе регулировки приемника. Регулировка должна также обеспечить совпадение принимаемых передач с отметками, нанесенными на шкале приемника.

В современных приемниках в качестве сопрягающего конденсатора часто устанавливаются конденсаторы постоянной емкости, а подстройка осуществляется соответствующей регулировкой сердечников катушек.

КОММЕНТАРИИ К СЕМНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Зеркальные частоты

Если в супергетеродине установлена промежуточная частота *F*, а гетеродин настроен на частоту *f*, то приемник может принимать две волны из числа волн, попадающих в антенну: волну, имеющую частоту $f + F$, и волну, имеющую частоту $f - F$.

Действительно, разность между каждой из этих частот и частотой гетеродина дает частоту *F*, на которую настроен усилитель промежуточной частоты: $(f + F) - f = f - (f - F) = F$.

Так, например, на супергетеродинный приемник с промежуточной частотой 50 *кгц* и гетеродином, настроенным на 750 *кгц*, можно принять передачи как на частоте 800 *кгц* (потому что 800—750 = 50), так и на частоте 700 *кгц* (потому что 750—700 = 50). Поэтому если избирательность входного контура недостаточна для устранения одной из этих частот, то мы будем одновременно слышать оба передатчика.

Чтобы устранить помеху со стороны зеркальной частоты, нужно установить в антенной цепи контуры высокой избирательности. Для этого можно предусмотреть предварительное усиление высокой частоты. Антенный ток, прежде чем попасть в преобразователь частоты, усиливается и фильтруется не только антенным контуром, но и контуром с избирательной связью, находящимся между усилителем высокой частоты и преобразователем.

Можно также построить антенный контур таким образом, чтобы он обладал высокой избирательностью. Как это осуществить, мы увидим позднее, когда будем рассматривать полосовые фильтры.

Повышенная промежуточная частота

Проблема устранения зеркальных частот радикально решается путем применения усилителей промежуточной частоты, настроенных на относительно высокие частоты, как, например, современная стандартная промежуточная частота 465 *кгц*. Следует отметить, что разность между зеркальными частотами равна удвоенной величине промежуточной частоты: $(f+F)-(f-F)=2F$.

В приведенном выше числовом примере зеркальные частоты были 800 и 700 *кгц*. Разность между ними как раз и составляет удвоенную промежуточную частоту.

Приняв в качестве промежуточной высокую частоту, мы раздвигаем зеркальные частоты до такой степени, что они могут быть подавлены практически при любой избирательности входного контура приемника. Так, при промежуточной частоте, равной 465 *кгц*, разность между зеркальными частотами составляет 930 *кгц*, вследствие чего нежелательная передача настолько удалена от принимаемой, что легко может быть подавлена. Но еще важнее то, что в диапазоне средних и длинных волн этого разрыва в 930 *кгц* достаточно, чтобы зеркальная частота вышла за пределы данного диапазона в область частот, где вероятность попасть на мощный передатчик вообще невелика.

Электродинамический громкоговоритель

Перейдя к изучению громкоговорителей, отметим, что в настоящее время электромагнитные громкоговорители применяются очень редко: их можно встретить в некоторых переносных батарейных или очень дешевых приемниках. Наиболее широко применяются электродинамические громкоговорители с подмагничиванием или постоянным магнитом из стали с высоким содержанием кобальта и алюминия *.

Чувствительность электродинамического громкоговорителя зависит в основном от интенсивности магнитного поля, в котором находится подвижная катушка. Ее повышают, снижая до минимума зазор (расстояние между полюсами магнита). Поэтому подвижная катушка, перемещающаяся в очень ограниченном пространстве, должна строго выдерживать направление перемещения во избежание примыкания к магниту, что породило бы трение, искажающее звук. Фиксация звуковой катушки в положении, которое она должна занимать, или центровка катушки, осуществляется фигурной деталью из эластичного материала; одной своей частью эта деталь крепится к диффузору в месте его соединения с подвижной катушкой, а другой — к корпусу громкоговорителя. Эта деталь, получившая название центрирующей шайбы, благодаря своей эластичности не нарушает нормального движения диффузора, но предохраняет подвижную систему от боковых смещений.

Подвижная катушка содержит несколько десятков витков проволоки, намотанных в один или два слоя.

Диффузор, как правило, изготавливается из бумажной массы и затем пропитывается специальным составом, сообщающим ему влагостойкость. Толщина диффузора, по форме представляющего собой конус, убывает от вершины к основанию. Краям диффузора для наибольшей свободы движения придается волнообразная форма. Внешняя кромка диффузора прикрепляется к металлической арматуре, в свою очередь соединенной с магнитной. Трансформатор, служащий связующим звеном между выходной лампой приемника и подвижной катушкой, часто крепится на внешней стороне арматуры. Первичная обмотка трансформатора иногда имеет средний вывод для подключения положительного полюса высокого напряжения при двухтактной схеме.

---

* В современных громкоговорителях широкое применение начинают находить постоянные магниты из ферритов. *Прим. ред.*

Условия хорошего воспроизведения звука

Громкоговоритель должен устанавливаться на толстой доске относительно больших размеров, в которой прорезано отверстие по диаметру диффузора. Эта доска представляет собой акустический экран, исключающий взаимодействие звуковых волн, излучаемых передней (вогнутой) стороной диффузора, со звуковыми волнами, излучаемыми задней (выпуклой) стороной диффузора. Результатом такого «акустического короткого замыкания» были бы исчезновение низких тонов и заглушение среднего регистра. Удлиняя путь «задних» волн, сохраняют высокое качество воспроизведения звука.

При отсутствии настоящего акустического экрана его функции может выполнить ящик приемника при условии достаточной величины и массивности. К несчастью, эти условия соблюдаются редко, так как слишком часто забывают то значение, которое имеет ящик для акустики.

Один электродинамический громкоговоритель не может хорошо воспроизвести всю гамму звуковых частот. Громкоговорители с диффузором малого диаметра (и поэтому с относительно легким диффузором) лучше воспроизводят высокие, а громкоговорители с большим диффузором — низкие частоты звукового диапазона. Поэтому в некоторых приемниках устанавливают два громкоговорителя; один — для низких и средних, а другой — для высоких частот. С помощью цепей, состоящих из емкостей и индуктивностей, выделяют составляющие соответствующих звуковых частот, чтобы подать на каждый громкоговоритель частоты, которые он лучше воспроизводит.

КОММЕНТАРИИ К ВОСЕМНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Автоматическая регулировка усиления

Проблема регулировки громкости звучания приемника при глубоком изучении оказывается более сложной, чем это кажется с первого взгляда. Дело заключается в том, чтобы отрегулировать среднюю громкость звучания в соответствии с желанием слушателя и затем стабильно удерживать ее на этом уровне. Однако непостоянство напряжения, создаваемого радиоволнами в антенне приемника, не позволяет получить стабильную громкость звучания.

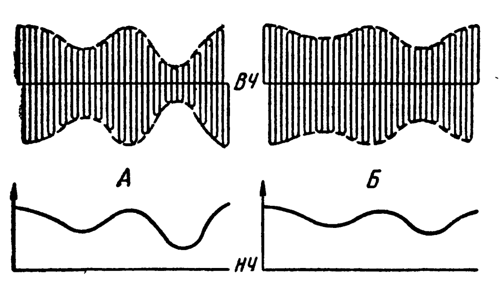


Рис. 152. Глубина модуляции колебания *А* больше, чем колебания *Б*. В нижней части рисунка показаны детектированные точки.

Причиной значительного изменения силы принимаемого сигнала часто бывает замирание, являющееся результатом простого или многократного отражения радиоволн от верхних слоев атмосферы. Кроме того, в подвижной установке (например, в приемнике на автомобиле) интенсивность принимаемых сигналов может изменяться из-за влияния металлических масс, образующих экран или отражатель. Так, например, проезд под металлическим мостом или между двумя железобетонными домами выразится в значительном ослаблении сигнала.

Устройство, позволяющее уменьшить влияние замираний в приемнике, называют автоматической регулировкой усиления (АРУ).

Идеальный регулятор должен был бы дать возможность автоматически получать одинаковую громкость звука при приеме всех передач. Практически же АРУ может поддерживать постоянство громкости звука только при условии, что все станции имеют одну и ту же глубину модуляции. Что это такое?

На рис. 152 показаны два модулированных тока высокой частоты, имеющих одну и ту же максимальную амплитуду. Но ток *А* сильнее промодулирован низкой частотой, чем ток *Б*, и поэтому после детектирования, ток с большей глубиной модуляции даст больший ток низкой частоты, как это показано в нижней части рисунка.

Необходимость ручной регулировки

Действие всех систем АРУ ограничивается *поддержанием постоянства высокочастотного напряжения, подаваемого на детектор* и, как было показано выше, не обеспечивает одну и ту же громкость для всех передач. Довольно часто случается, что удаленный, но глубоко промодулированный передатчик дает более громкий звук, чем местный, но слабо промодулированный.

Основная цель АРУ заключается в том, чтобы поддерживать постоянство громкости звучания данной передачи в течение всего времени ее приема. Поэтому *наличие АРУ никоим образом не исключает необходимости в ручной регулировке громкости звука,* позволяющей установить громкость на желаемом уровне, какой бы ни была глубина модуляции.

В связи с тем, что ручная регулировка громкости не должна влиять на напряжение на входе детектора, на которое воздействует автоматический регулятор, *она должна находиться в низкочастотной части приемника.* Обычно это осуществляется с помощью потенциометра, включаемого в цепь связи усиления низкой частоты и позволяющего регулировать напряжение на сетке усилительной лампы. Часто такой потенциометр включают в качестве нагрузки в цепь детектора, что дает возможность снимать желаемую часть детектированного напряжения низкой частоты.

Гидравлическая аналогия

Теперь, когда мы установили пределы действия автоматического регулятора усиления, мы можем изложить основной принцип его работы.

Этот принцип заключается в том, что в *регуляторе используется напряжение, развиваемое средним значением детектированного тока, для воздействия на электроды ламп, предшествующих детектору, так, чтобы уменьшать усиление при увеличении сигнала.*

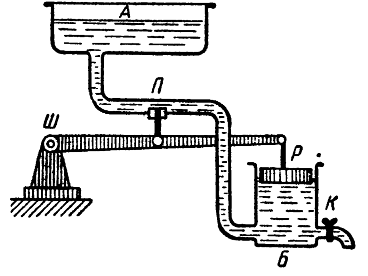


Рис. 153. Гидравлическое устройство, аналогичное автоматическому регулятору усиления.

Очень простая гидравлическая аналогия поможет нам разобраться в смысле этой формулировки. Интенсивность сигналов на входе приемника изображается уровнем жидкости в сосуде *А* (рис. 153). Уровень жидкости в сосуде *Б* соответствует напряжению, поданному на детектор. На рисунке видны труба, соединяющая оба сосуда, и кран *К*, через который жидкость может вытекать из сосуда *Б*. Если бы установка состояла только из описанных устройств, то изменение уровня в сосуде *А* вызывало бы соответствующее изменение уровня в сосуде *Б* (явление замираний). Но в установке предусмотрен регулятор, который должен поддерживать постоянство уровня в сосуде *Б*. Он состоит из поплавка *Р*, прочно соединенного с рычагом на шарнире *Ш*, несущем пробку *П*. Когда в результате повышения уровня в сосуде *А* повышается уровень в сосуде *Б*, поплавок *Р*, всплывая, поднимает пробку *П*, так что количество поступающей жидкости

уменьшается и уровень в сосуде *Б* сразу же понижается. Понятно, что практически уровень жидкости в сосуде *Б* остается неизменным.

Точно так же в приемнике с автоматическим регулятором громкости повышение интенсивности сигнала на входе вызывает повышение среднего значения детектированного тока. Этот ток создает на сопротивлении падение напряжения, которое в форме смещения подается на электроды одной или нескольких предшествующих ламп и снижает их коэффициент усиления.

Нас в конечном итоге интересует скорость поступления жидкости или, если мы говорим о радио, результирующая громкость звука. В гидравлике поступление жидкости зависит не только от уровня, но и от характера жидкости, в основном от ее удельного веса. Если мы будем иметь дело только с одной жидкостью, то количество жидкости, пропускаемое в секунду краном *К*, останется неизменным, какой бы уровень ни был в сосуде *А*. Если же мы будем пропускать то ртуть, то растительное масло, скорость поступления этих жидкостей не будет одинаковой. Именно тогда с пользой для дела вступает кран *К*, который в конечном итоге определяет расход каждой жидкости.

Вернемся к области радио: внимательный читатель, очевидно, уже догадался, что характер жидкости соответствует глубине модуляции, а кран *К* играет роль ручной регулировки громкости звука, стоящей в низкочастотной части приемника.

Отметим также, что гидравлический регулятор позволяет снижать скорость поступления жидкости, препятствуя таким образом повышению уровня в сосуде *Б*. Если по какой-либо причине уровень в сосуде *А* станет слишком низким, то уровень в сосуде *Б* также упадет и регулятор не сможет восполнить это снижение. Такое же явление наблюдается и в радио. ***Автоматический регулятор усиления лишь в большей или меньшей степени снижает чувствительность приемника.***

Таким образом, автоматический регулятор усиления осуществляет «нивелировку по наинизшему уровню». Он может применяться лишь в приемниках с достаточным резервом по чувствительности.

Следует подчеркнуть, что само напряжение, развиваемое усиливаемыми сигналами на выходе детектора, служит для автоматической регулировки усиления. Это напряжение должно оставаться постоянным. Как только появляется тенденция изменения напряжения в сторону повышения или понижения, оно воздействует на предшествующие лампы, изменяя их усиление и компенсируя тем самым эффект колебания величины сигнала в антенне.

Лампы с переменной крутизной

Изменение усиления в лампах, предшествующих детектору, осуществляется путем изменения их крутизны. Крутизна, как мы это видели при изучении характеристик ламп, постоянна лишь на линейном участке характеристики. Как только смещение достигает нижнего изгиба характеристики, крутизна снижается и может в конечном итоге стать равной нулю (когда анодный ток исчезает при сильном смещении).

Все лампы, охваченные системой АРУ, имеют специальную характеристику — это лампы с переменной крутизной. Крутизна у них весьма постепенно изменяется в зависимости от изменения смещения. Характеристика не имеет резких изгибов и на всех ее участках небольшой отрезок кривой легко может быть приравнен прямой. Таким образом, где бы ни находилась рабочая точка, искажения, вносимые нелинейностью, будут незначительными, если мы имеем дело с малыми амплитудами сеточного напряжения.

Чем бо́льшую абсолютную величину имеет отрицательное смещение, тем меньше крутизна, а следовательно, и усиление лампы. Так, изменяя в известных пределах смещение лампы с переменной крутизной, мы можем изменять ее усиление от максимального значения до такой малой величины, что это будет скорее ослаблением, чем усилением.

Работа АРУ

Регулировка усиления перед детектором (которая по сути дела является ничем иным, как регулировкой чувствительности приемника) могла бы производиться вручную, например путем регулировки потенциала сетки или, что эквивалентно, потенциала катода лампы с помощью потенциометра. Но в автоматическом регуляторе необходимое напряжение смещения снимается с детектора. Действительно, напряжение низкой частоты в точке X (см. рис. 106) диодного детектора в каждый момент пропорционально средней интенсивности принимаемых сигналов.

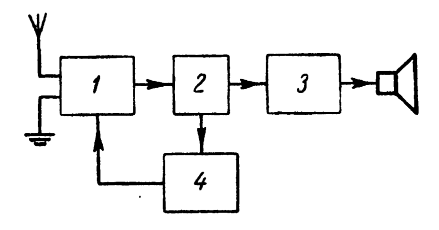


Рис. 154. Блок-схема радиоприемника с АРУ.

1 — усилитель высокой частоты; 2 — детектор; 3 — усилитель низкой частоты; 4 — цепь АРУ.

Это отрицательное напряжение используется в качестве смещения в цепях сеток предшествующих ламп, которые включаются, таким образом, в цепь АРУ (рис. 154). Следует отметить, что начальное смещение ламп получается обычным способом в результате падения напряжения на сопротивлении, включенном между катодом и минусом высокого напряжения. Напряжение АРУ добавляется к нему, создавая увеличение смещения, с тем чтобы в большей или меньшей степени ослабить усиление каждой лампы.

Когда вследствие замираний интенсивность принимаемых антенной сигналов снижается, падает также и детектированное напряжение в точке X; в результате этого дополнительное смещение уменьшается и усиление ламп возрастает, нейтрализуя тем самым эффект замираний.

Постоянная времени

Значение автоматического регулятора усиления заключается в стабилизации громкости воспроизведения. Речь, конечно, идет не о том, чтобы свести мощность всех звуков к одной и той же величине, лишая музыку всех ее нюансов. Наоборот, контраст между пианиссимо и фортиссимо по мере возможности должен полностью сохраняться. Стабилизироваться должна только средняя громкость звучания.

Для достижения этого нужно сделать так, чтобы при кратковременных изменениях интенсивности сигналов (например, при громких аккордах) АРУ не срабатывало. Быстрые изменения интенсивности нейтрализуют с помощью специальной цепи, например из резистора R_1 и конденсатора C_1 (рис. 107). Эта цепь отводит переменные составляющие напряжения к какой-либо точке с постоянным потенциалом (например, к минусу высокого напряжения) и имеет большую постоянную времени.

Постоянная времени выражается в секундах и численно равна произведению R в омах на C в фарадах. Так, например, сопротивление 500 000 *ом* и конденсатор 0,1 *мкф* (или 0,0000001 *ф*) будут иметь постоянную времени $500\,000 \cdot 0,0000001 = 0,05$ *сек* (или $^1/_{20}$ *сек*). В результате все изменения, имеющие длительность менее $^1/_{20}$ *сек*, не будут переданы этим устройством. Звуковые частоты, принимаемые радиоприемниками, выше 20 *гц*, т. е. длительность их меньше $^1/_{20}$ *сек*, замирания же, за редкими исключениями, протекают значительно медленнее. Поэтому мгновенные изменения напряжения, вызываемые даже самыми низкими звуковыми частотами, не окажут никакого влияния на усиление до детектора; однако колебания интенсивности, обусловленные замираниями, пройдут через систему с такой постоянной времени и усиление ламп изменится соответствующим образом.

Задержанная АРУ

В настоящее время для детектирования применяют, как правило, двойные диоды с общим катодом. Это позволяет разделить функции детектирования и автоматической регулировки усиления. Как было показано на рис. 108, верхний диод выполняет роль детектора, на нижний же напряжение высокой частоты подается через конденсатор C_1 малой емкости, и падение напряжения на резисторе R_1, обусловленное детектированным током, используется как напряжение АРУ. Однако использование двойного диода в таком виде не дает существенного преимущества. Его применение представляет действительный интерес при устройстве задержанной АРУ.

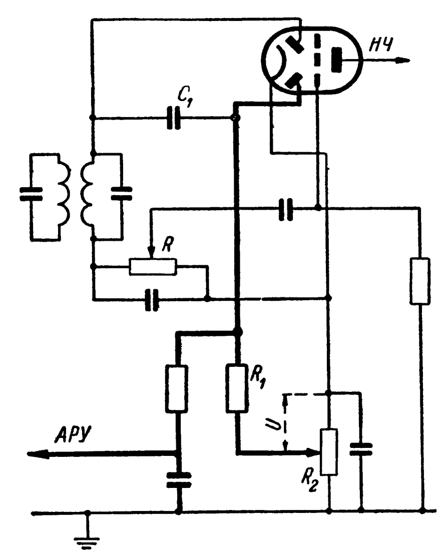


Рис. 155. Задержанная АРУ. Основная часть схемы обведена жирной линией. Напряжение U создает задержку.

Так называют систему регулировки, которая вступает в действие только в случае превышения интенсивностью принимаемых сигналов некоторого минимального значения. Какой интерес представляет такое устройство?

Обычная АРУ, которую мы только что рассмотрели, действует при наличии малейшего сигнала в антенне. Выражение «действует» означает «снижает чувствительность приемника». Однако при слабых сигналах этого как раз не требуется.

Чтобы не мешать приему дальних или слабых передач, небходимо, чтобы регулятор включался только в случае превышения сигналом определенного уровня. Мы задерживаем действие регулятора, чтобы он начинал реагировать только на сигналы, создающие на детекторе напряжение, превышающее некоторое заданное напряжение и именуемое напряжением задержки. В этом заключается цель задержанной АРУ.

Ее устройство весьма просто (рис. 155). Чтобы напряжение АРУ возникало только при сигналах, превышающих определенную интенсивность, на анод нижнего диода, выделенного для АРУ, подается отрицательное по отношению к катоду напряжение. Это смещение получается за счет падения напряжения, создаваемого анодным током триодной секции комбинированной лампы на резисторе R_2, включенном между катодом и минусом высокого напряжения. Благодаря напряжению U, возникающему между катодом и соответствующим образом выбранной точкой этого сопротивления, потенциал нижнего анода становится отрицательным по отношению к катоду. В результате сигналы, создающие на диоде напряжение, меньшее, чем U, не будут сопровождаться появлением тока через диод и, следовательно, падением напряжения на резисторе R_1. Детектирование и образование регулирующего напряжения могут иметь место лишь при напряжении на диоде, превышающем напряжение задержки U.

Таким образом, сохраняя максимальную чувствительность при слабых сигналах, АРУ вступает в действие при наличии более сильных.

Из рис. 155 видно, что верхний диод (осуществляющий детектирование для выделения низкой частоты) не зависит от напряжения задержки, так как сопротивление его нагрузки — резистор R соединен непосредственно с катодом. На схеме этот резистор включен потенциометром и служит для ручной регулировки громкости звука.

Бесшумная настройка

Когда приемник, снабженный АРУ, не настроен на какой-либо передатчик, его чувствительность максимальна. При этом он с максимальной мощностью принимает все электрические возмущения, которые вызываются атмосферным электричеством (атмосферные помехи) и бесчисленными промышленными, бытовыми и медицинскими электрическими машинами и приборами (индустриальные помехи, порождаемые двигателями, генераторами, выключателями и особенно искрением электрических машин, световой сигнализации, электрических звонков и пр.). Эти помехи создают очень неприятный шум, когда, вращая ручку конденсатора переменной емкости, ведут поиск какой-либо станции и проходят интервалы между станциями.

Чтобы избавить радиослушателя от этого раздражающего шума, в некоторых приемниках применяют систему бесшумной настройки, заглушающую шум, пока приемник не настроен на станцию. Здесь мы не будем рассматривать различные применяемые для этого системы. Бóльшая часть их основана на использовании напряжения АРУ, подаваемого на лампы низкой частоты. При отсутствии сигналов эти лампы так «заперты» большим смещением, что приемник становится немым. Но, когда приемник настроен, возникающее напряжение АРУ отпирает лампу низкой частоты, восстанавливая ее смещение до нормальной величины.

Устройства бесшумной настройки применяются редко, так как они работают не всегда удовлетворительно, а иногда становятся причиной серьезных искажений.

Визуальные индикаторы настройки

Повсеместное распространение в приемниках получили визуальные индикаторы настройки, позволяющие настроить приемник на нужную станцию при нулевом положении ручки ручного регулятора громкости. Настроив таким образом приемник без неприятного шума с помощью системы визуального контроля, затем по желанию регулируют уровень громкости.

Существует два типа визуальных индикаторов настройки. Одним из них является обычный миллиамперметр, включаемый в анодные цепи ламп, охваченных АРУ. Так как при точной настройке напряжение АРУ достигает максимального значения, смещение на лампе также оказывается наибольшим, а анодный ток — наименьшим. Точная настройка осуществляется по минимальному току миллиамперметра.

Рис. 156. Устройство верхней части электронно-светового индикатора настройки.

а — вид сбоку; *б* — вид сверху. *1* — катод; *2* — люминесцентный анод; *3* — непрозрачный экран; *4* — отклоняющий электрод.

Другая, более распространенная группа индикаторов настройки основана на электронно-световом принципе. В этих индикаторах (рис. 156) имеется катод *1*, испускающий электроны, и анод *2*, имеющий форму чашечки, на который подается определенный положительный потенциал. Внутренняя поверхность анода покрыта слоем электролюминесцентного вещества, светящегося под действием электронной бомбардировки. Наблюдатель, рассматривающий индикатор сверху, видит равномерно светящуюся поверхность анода; черный экран *3* защищает глаз от светового излучения накаленного катода.

На пути электронов установлены один или несколько отклоняющих электродов *4*. Стержневидным отклоняющим электродом сообщают относительно анода больший или меньший отрицательный потенциал, в результате чего, отталкивая электроны, они заставляют их в разной степени отклоняться от нормальной траектории. Таким образом, каждый из отклоняющих электродов создает на аноде более или менее широкую тень в зависимости от величины отрицательного потенциала. При наличии двух электродов мы увидим две широкие тени (рис. 157, *а*) в случае очень большого отрицательного потенциала относительно анода и две очень узкие тени (рис. 157, *б*) при почти одинаковом с анодом потенциале.

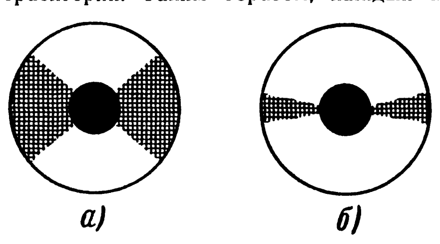


Рис. 157. Теневые секторы индикатора настройки.

а — приемник не настроен; *б* — точная настройка.

Легко догадаться, что напряжение на отклоняющие электроды подается от системы АРУ. Это напряжение предварительно усиливается триодом (рис. 158). Напряжение на отклоняющие электроды индикатора снимается с анодного резистора *R*. В момент точной настройки напряжение АРУ имеет наибольшее отрицательное значение. В этот момент ток триода имеет наименьшую величину, падение напряжения на резисторе *R* почти полностью отсутствует и потенциал электрода почти равен потенциалу электролюминесцентного экрана. Теневые секторы сужаются, что свидетельствует о точной настройке.

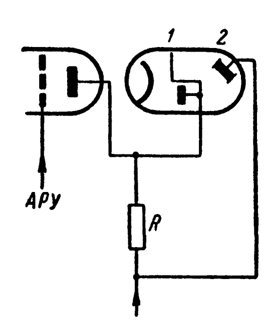


Рис. 158. Напряжение АРУ, усиленное триодом, создает между электродами *1* и *2* электронно-светового индикатора настройки требуемое отклоняющее напряжение.

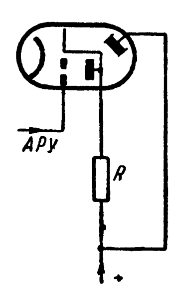


Рис. 159. Реальная схема электронно-светового индикатора настройки, в котором обе системы электродов, изображенные на рис. 158, объединены в одной колбе.

Усилительная лампа и собственно электронный индикатор в действительности монтируются в одном стеклянном баллоне, как это показано на рис. 159, где изображена схема, эквивалентная схеме на рис. 158. Резистор *R* имеет сопротивление 1—2 *Мом.*

Благодаря оптическому индикатору осуществляется точная настройка, являющаяся одним из необходимых условий неискаженной передачи.

Добавим, что в настоящее время выпускаются сдвоенные электронно-оптические индикаторы различной чувствительности, в которых один из теневых секторов сужается под воздействием относительно слабых сигналов. Первый сектор служит для точной настройки на местные станции, а второй облегчает поиски удаленных станций.

КОММЕНТАРИИ К ДЕВЯТНАДЦАТОЙ БЕСЕДЕ

Различные виды искажений

Уже в течение ряда лет усилия радиоспециалистов направлены на получение наиболее верного воспроизведения музыки. Идеальным решением была бы, разумеется, полная идентичность звучания громкоговорителя и той передачи, которая воздействует на микрофон в студии радиовещательной станции. Хотя такое идеальное решение и неосуществимо, исследователи все более к нему приближаются, исключая изо дня в день различные причины искажений. Если сравнить качество воспроизведения звука современных приемников с тем, что лет 20 назад считалось хорошим воспроизведением, то можно заметить всю значительность достаточного прогресса.

Искажения могут иметь различный характер. Различают *линейные искажения*, которые проявляются в неравномерном воспроизведении различных звуковых частот. Так, в большинстве приемников среднего качества низкие и высокие частоты ослаблены относительно частот среднего регистра.

Кроме того, читатель уже знает о существовании *нелинейных искажений*, порождаемых кривизной характеристик ламп, которые сказываются одновременно и на соотношении интенсивности и на самой форме колебаний; в результате этих искажений появляются новые частоты, которых не было в исходной передаче.

Наконец, могут появиться шумы постороннего происхождения: фон электросети, возникающий из-за недостаточной фильтрации или из-за паразитных индукций; шумы, порождаемые неравномерностью электронной эмиссии и тепловыми флуктуациями в проводниках, и, наконец, атмосферные и индустриальные помехи.

Углубленное изучение этой проблемы приводит к следующему печальному выводу: искажения могут возникать во всех элементах приемника, усилителе высокой частоты, детекторе, усилителе низкой частоты Можно лишь удивляться, что, несмотря на тысячи опасностей, нависших над музыкальной передачей во всех звеньях радиолинии, все же удается почти полностью сохранить ее первоначальную чистоту...

Боковые полосы

Искажения в усилителе высокой частоты (включая усилитель промежуточной частоты в супергетеродинах) могут возникать из-за чрезмерной избирательности колебательных контуров.

В наших рассуждениях мы до сих пор считали, что принимаемые антенной высокочастотные колебания имеют только одну частоту — частоту незатухающих колебаний, являющуюся несущей для низкочастотной модуляции. Однако такое представление является слишком упрощенным и не соответствует действительности.

Модуляция токов высокой частоты f токами низкой частоты F подобна настоящему преобразованию частоты, в известной мере аналогичному тому, которое имеет место в супергетеродине. Однако здесь имеется и существенное различие.

В результирующем токе после детектирования содержится частотная составляющая $f - F$. Когда же мы модулируем несущий ток с частотой f и звуковой частотой F, мы создаем по обе стороны частоты f две частотные составляющие: $f - F$ и $f + F$, симметричные по отношению к частоте f. Эти частоты называются боковыми частотами.

При передаче речи или музыки мы имеем дело не с одной частотой F, а со всей полосой частот, достигающей 10 000 или 16 000 *гц*. Таким образом, вокруг несущей частоты f создаются боковые полосы, занимающие весь интервал частот от $f - F$ до $f + F$ шириной $2F$.

В качестве примера укажем, что при передаче, ведущейся на частоте 1 *Мгц* (длина волны 300 *м*), модулированной всеми звуковыми частотами вплоть до 10 000 *гц*, появятся все частоты между 0,99 и 1,01 *Мгц*, или в интервале 20 *кгц*.

Качество воспроизведения и избирательность

Несущая частота каждого передатчика должна смещаться относительно несущей частоты ближайшего соседа не менее чем на $2F$ во избежание интерференции между боковыми частотами. В приведенном выше примере наиболее близкие по частоте передатчики должны настраиваться на 0,98 и 1,02 *Мгц*; боковые полосы во втором случае займут интервал от 1,01 до 1,03 *Мгц*.

Чтобы иметь возможность уместить в интервале частот, отведенных для радиовещания, большое количество передатчиков, международная конвенция ограничила до 9 *кгц* общий интервал частот для обеих боковых полос каждого передатчика. В этих условиях передаваемые модуляционные частоты не должны превышать 4,5 *кгц*. Из-за этого ограничения радио является с точки зрения верности воспроизведения звука бедным родственником звукозаписи и звукового кино, которые не знают подобных ограничений и могут воспроизводить самые высокие звуковые частоты.

К счастью, на коротких и особенно на метровых волнах эти ограничения отсутствуют. Вот почему качество телевизионного звукового сопровождения, передаваемого на метровых волнах, явно выше качества передач на средних и длинных волнах.

Но даже при полосе 4,5 *кгц* можно добиться вполне удовлетворительного качества воспроизведения звука при условии, что сам приемник не срезает высоких модуляционных частот. Однако именно в этом заключается роковое свойство, присущее слишком избирательным контурам. Пропуская лишь очень узкую полосу частот, они ослабляют или подавляют все другие модуляционные частоты.

Конечно, нет ничего проще, чем снизить избирательность контура. Для этого достаточно увеличить его затухание, включив параллельно контуру сопротивление, потери в котором будут определяться величиной тока. Но в этом случае мы потеряем на чувствительности, а избирательность окажется недостаточной, чтобы избежать одновременного приема станций, работающих на соседних частотах.

Дилемма становится еще более очевидной при изучении резонансных кривых. Эти кривые показывают изменение интенсивности протекающего в колебательном контуре тока в зависимости от частоты, достигающего максимума в точке резонанса.

Накладывая эти кривые на прямоугольник, соответствующий несущей с боковыми полосами, мы видим, что контур с малой избирательностью (см. рис. 111) имеет резонансную кривую, значительно шире интервала интересующих нас частот и поэтому пропускает также частоты других передач. Слишком избирательный контур (см. рис. 112) срезает высокие частоты боковых полос.

Решение заключается в использовании сложных контуров, носящих наименование полосовых фильтров, резонансные кривые которых приближаются к прямоугольной форме в интервале 9 000 *гц*, после чего кривая резко падает и соседние передачи не усиливаются.

Полосовые фильтры

Полосовой фильтр состоит из двух связанных между собой колебательных контуров. В зависимости от величины связи (слабая, средняя сильная и очень сильная) резонансная кривая имеет одну из форм, показанных на рис. 160. Двугорбая форма кривой, характеризующая сильную связь, появляется лишь при связи, превышающей так называемую критическую связь. Только при

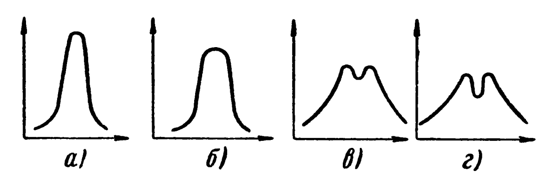


Рис. 160. Два связанных колебательных контура дают в зависимости от степени связи одну из этих четырех резонансных кривых.

а — слабая связь; *б* — средняя связь; *в* — сильная связь; *г* — очень сильная связь.

связи, близкой к критической, резонансная кривая полосового фильтра имеет форму, позволяющую удовлетворить условию достаточной избирательности при хорошем качестве воспроизведения.

Существует несколько типов связи двух контуров: индуктивная (на таком принципе основано устройство трансформаторов промежуточной частоты), емкостная, комбинированная емкостно-индуктивная, а также связь через общее сопротивление (емкостное, индуктивное или емкостно-индуктивное, см. рис. 116).

Полосовые фильтры используются в качестве антенных контуров или в качестве цепей связи между лампами высокой и промежуточной частоты.

Переменная избирательность

Ширина полосы пропускания зависит от степени связи. С помощью регулируемой связи мы можем по своему усмотрению изменять ширину полосы частот, пропускаемой фильтром. Таким образом осуществляется переменная избирательность, позволяющая приспособиться к приему в самых разнообразных условиях.

Чтобы слушать передачу удаленной станции, которая легко может быть забита мощным передатчиком, избирательность доводят до максимума, жертвуя качеством воспроизведения. В тех же случаях, когда прием близкой или мощной станции не требует высокой избирательности, связь увеличивают, чтобы добиться наивысшего качества передачи.

Искажения в цепях низкой частоты

Искажения, возникающие в низкочастотных цепях приемника, принадлежат преимущественно к категории нелинейных искажений, причиной которых служит кривизна характеристик ламп. Эта кривизна присуща даже тому участку характеристики, который мы в первом приближении считали линейным. Пока речь шла об усилении небольших переменных напряжений, мы имели достаточно оснований считать этот участок линейным. Но в усилителях низкой частоты и особенно в оконечной лампе мы встречаемся с относительно большими переменными напряжениями и кривизна характеристики приводит здесь к заметным искажениям анодного тока.

Анализ показывает, что изменение формы анодного тока приводит к появлению звуковых г а р м о н и к, т. е. колебаний с частотой в 2—3 и больше раз выше основной частоты воспроизводимого звука. Эти гармоники меняют тембр звука и соответственно искажают передачу.

Отрицательная обратная связь

Борьба с этими искажениями осуществляется по принципу «клин клином вышибается». *Чтобы устранить или по крайней мере ослабить искажения в усилителе низкой частоты, в него вводят искажения, аналогичные тем, которые он вносит сам, но противоположного знака, с тем чтобы одни искажения компенсировали другие.*

Но где взять искажения, идентичные искажениям, вносимым усилителем? Наиболее простой и надежный способ заключается в том, чтобы снять их с выхода самого усилителя и подать на вход в противоположной полярности к напряжению, которое их вызывает в процессе усиления.

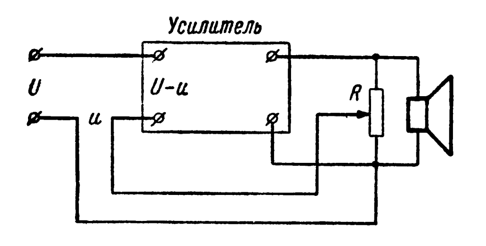


Рис. 161. Принципиальная схема отрицательной обратной связи. Необходимая часть выходного напряжения снимается с потенциометра R.

Вот мы и пришли к принципу о т р и ц а т е л ь н о й о б р а т н о й с в я з и.

Идеальным решением было бы снимать с выхода только напряжение, соответствующее искажениям. Но его, разумеется, невозможно выделить из всего напряжения. Поэтому с выхода снимается некоторая часть u всего напряжения, которая и подается на вход усилителя в противоположной полярности с усиливаемым напряжением U (рис. 161).

Что же при этом происходит?

Имея противоположную полярность относительно входного напряжения U, напряжение u вычитается из него, в результате чего входное напряжение падает до значения $U - u$. Но это неважно, так как снижение может быть компенсировано соответствующим усилением в других звеньях. Важно то, что в напряжении $U - u$ имеются искажения, которые не существовали в напряжении U и которые противоположны искажениям, возникающим в усилителе. В результате искажения на выходе значительно снижаются.

Так как входное напряжение U уменьшается до значения $U - u$ частью выходного напряжения u, отрицательная обратная связь в известной мере снижает усиление. Ее следует применять лишь в усилителях, имеющих достаточный запас по усилению, чтобы оконечная лампа, несмотря на снижение усиления, могла отдать требуемую выходную мощность.

Отрицательная обратная связь в схеме оконечной лампы

В связи с тем, что основные искажения возникают главным образом в оконечной лампе, обратную связь часто применяют только в цепи этой лампы. Наиболее простой способ (рис. 162) заключается в соединении анода оконечной лампы $Л_2$ с анодом лампы предварительного усилителя $Л_1$ через резистор R с большим сопротивлением (1—2 *Мом*). Благодаря этому часть переменного напряжения первичной обмотки выходного трансформатора поступает через конденсатор C на управляющую сетку оконечной лампы.

Следует отметить, что, как и в схеме, изображенной на рис. 161, деление выходного напряжения перед подачей его на сетку лампы производится с по-

мощью делителя, аналогичного потенциометру. На рис. 162 потенциометр образован из сопротивления резистора R (одно плечо) и трех других параллельно включенных сопротивлений (другое плечо): внутреннего сопротивления R_i лампы $Л_1$ и сопротивлений резисторов R_1 и R_2 (каждое из этих сопротивлений одним концом подключено к аноду лампы $Л_1$, а другим — к плюсу или минусу источника высокого напряжения, что по переменному току эквивалентно). Так как суммарное сопротивление параллельных сопротивлений R_i, R_1 и R_2 мало по сравнению с сопротивлением R, на сетку лампы $Л_2$ подается незначительная часть выходного напряжения.

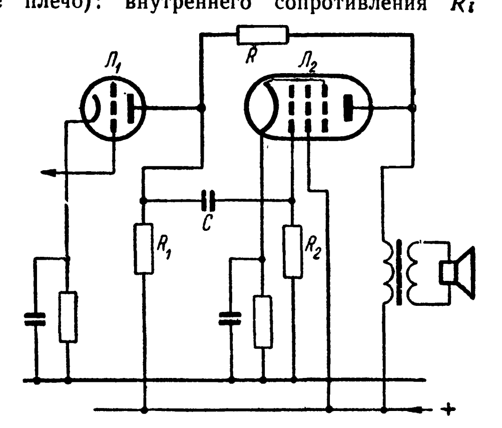


Рис. 162. Отрицательная обратная связь в усилителе низкой частоты, осуществленная с помощью резистора R, включенного между анодами двух ламп.

Отрицательная обратная связь с коррекцией тембра

При желании охватить отрицательной обратной связью обе лампы усилителя низкой частоты приемника напряжение лучше снимать со вторичной обмотки выходного трансформатора, который, как мы знаем, понижает напряжение. Это напряжение подают на резистор R_1 с небольшим сопротивлением (10—20 *ом*), включенный в цепь катода последовательно с резистором смещения первой лампы (рис. 163). Таким образом, в цепи отрицательной связи управляющим электродом является катод.

Иногда это устройство одновременно используется для улучшения воспроизведения низших и высших звуковых частот, обычно ослабленных относительно среднего их регистра. *Чтобы лучше усилить низшие и высшие частоты, достаточно снизить напряжение отрицательной обратной связи на этих частотах.* Таким образом, ослабление усиления, виосимое отрицательной обратной связью, будет менее выражено для низших и высших частот, которые в результате будут усилены больше, чем средние частоты.

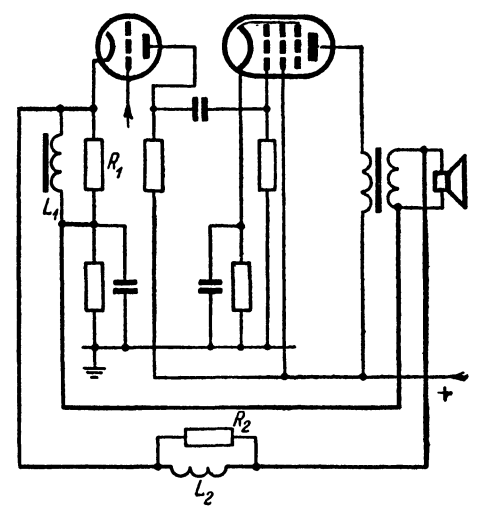


Рис. 163. Отрицательная обратная связь в усилителе низкой частоты с коррекцией тембра.

R_1 — 10 — 20 *ом*; R_2 — 500 *ом*; L_1 — 25 *мгн*; L_2 — 15 *мгн*.

Такая коррекция тембра осуществляется с помощью двух небольших катушек индуктивности: L_1 и L_2. Первая из них включена параллельно цепи обратной связи. Ее индуктивное сопротивление, а следовательно, и напряжение отрицательной обратной связи на резисторе R_1 тем меньше, чем ниже частота. Таким образом, катушка L_1 корректирует низшие звуковые частоты. Сопротивление последовательно включенной катушки L_2 увеличивается с частотой. В результате напряжение высоких частот на резисторе R_1 падает и отрицательная обратная связь меньше влияет на их усиление.

Такой метод коррекции тембра представляется соблазнительным благодаря относительной простоте, но его можно рекомендовать лишь с большими оговорками. Снижая величину отрицательной обратной связи на некоторых частотах, не следует забывать, что основная цепь отрицательной обратной связи заключается в уменьшении искажений. Поэтому частоты, менее ослабленные отрицательной обратной связью, будут больше искажены. И если это не имеет большого значения для высших частот (гармоники которых имеют достаточно высокую частоту, чтобы не вносить заметных на слух искажений), то для низших частот это может оказаться весьма неприятным.

И так как существуют другие методы коррекции тембра, не связанные с цепью отрицательной обратной связи, лучше пользоваться ими, чем рисковать вводить неприятные искажения в процессе устранения других, ...иногда менее значительных.

КОММЕНТАРИИ К ДВАДЦАТЬ ТРЕТЬЕЙ БЕСЕДЕ

Антенна

В этой, последней, беседе Любознайкин и Незнайкин дружными усилиями составили схему приемника, хорошо продуманного во всех деталях. Однако они обошли молчанием проблему антенного устройства.

Такое упущение вполне простительно. Современный приемник, подобный тому, который наши друзья собираются строить, обладает столь высокой чувствительностью, что позволяет обойтись самой скромной антенной. Нескольких метров провода, натянутого на потолке и хорошо изолированного от гвоздей, достаточно, чтобы слушать с хорошей громкостью много дальних станций. Для заземления же обычно используются трубы водопровода.

Впрочем, приемники обычно можно вообще не заземлять, так как достаточно собственной емкости, образующейся между металлическим шасси и «землей».

Однако комнатная антенна принимает не только электромагнитные волны станций, но и индустриальные помехи. Как мы уже говорили, эти помехи порождаются различными промышленными, медицинскими и бытовыми электрическими установками и приборами. Это высокочастотные колебания, распространяющиеся в виде электромагнитных волн, занимающих очень широкую полосу частот, и поэтому мешающие нормальному приему почти на всех частотах.

Помехи имеют относительно малую мощность и распространяются только в пределах нескольких зданий, где их распространение облегчается благодаря наличию электропроводки, металлических труб и аналогичной арматуры. Интенсивность помех резко снижается над крышами и уже на высоте в несколько метров над крышей они часто имеют ничтожную величину.

Поэтому для улучшения приема антенну лучше устанавливать снаружи над крышами домов. Форма антенны не имеет существенного значения: выполнена ли она в виде горизонтального провода, вертикального стержня или корзинки.

В дальнейшем задача состоит в том, чтобы исключить возможность попадания помех на антенное снижение, соединяющее приемник с антенной.

И в этом случае проблема удачно решается экранировкой. Благодаря применению экранированного антенного снижения ток из антенны без каких бы то ни было изменений достигает приемника.

Экранированный провод снижения представляет собой медный провод, помещенный в гибкую металлическую трубку (например, металлическую оплетку) со значительно бо́льшим диаметром. Экран должен быть заземлен.

Хорошо выполненная антенная система является эффективным средством борьбы с индустриальными помехами, но она не защищает от атмосферных возмущений, воздействие которых на приемник, если только нет грозы, к счастью, слабее.

Что будет завтра?

Эти строки приоткрывают завесу над многочисленными возможностями применения радио, которое, отнюдь не ограничиваясь передачей развлекательной музыки, познавательных лекций и более или менее приятной информации, выполняет такие важные задачи, как служба точного времени, передача сигналов бедствия или метеослужбы.

С каждым днем расширяется область применения радио. Если еще вчера радиоволны служили только для передачи сигналов Морзе, затем речи и музыки, то сегодня они несут миру живое телевизионное изображение.

Техника телевидения послужила предметом ряда бесед между Любознайкиным и Незнайкиным, изложенных в другой книге, являющейся продолжением этой.

Преодолевая время и пространство, не явятся ли завтра электромагнитные волны связующим звеном для установления непоколебимой солидарности и взаимопонимания между народами земного шара? Не установим ли мы послезавтра связь с жителями других планет? И не будет ли радиотехника способствовать всемирному сближению?

Пожелаем, чтобы это было так...

Электроника

В настоящее время радио и телевидение являются лишь частью обширной области техники, известной под названием электроники и включающей все применения электронных ламп во всех областях человеческой деятельности. С помощью электронных ламп можно решать самые разнообразные задачи благодаря возможности произвольного изменения формы электрического сигнала.

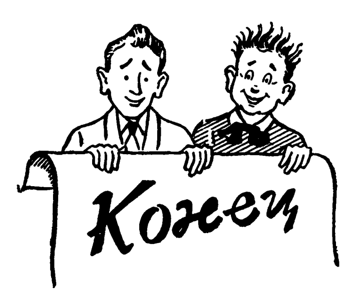
Астрономия, биология, физика, все отрасли как науки, так и промышленности пользуются электронными устройствами.

Электронные приборы расширяют возможности наших органов чувств (так, электронный микроскоп позволяет видеть вирусы и отдельные молекулы, а звуковой усилитель — слышать самые слабые звуки) и дополняют их там, где непосредственное восприятие невозможно (обнаружение невидимых излучений, воспроизведение электрических колебаний на электронно-лучевом осциллографе).

Ряд электронных устройств избавляет нас от однообразных утомительных работ, автоматически управляя машинами или осуществляя трудоемкие вычисления.

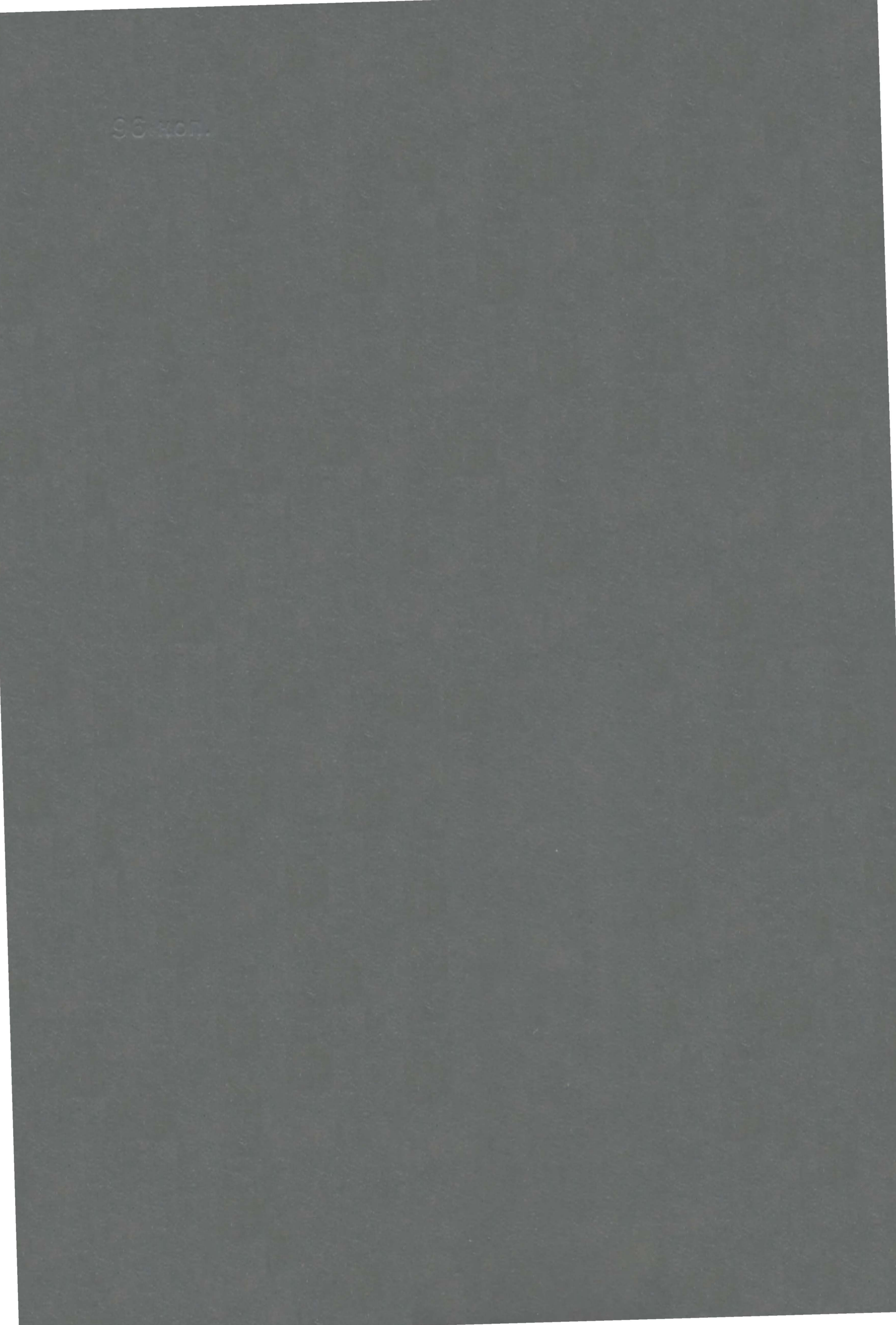
В последние годы во всех областях электроники появился новый усилительный элемент, полупроводниковый триод, или транзистор, дополняющий, а иногда и заменяющий электронные лампы. Это поразительно интересное применение полупроводников. Вокруг транзистора растет новая область техники.

Кто знает, не начнут ли в ближайшее время Любознайкин и Незнайкин рассматривать увлекательные проблемы электроники и изучать транзисторы в новой серии бесед...



СОДЕРЖАНИЕ

O


96 коп.